

Søren Knudsen

CFD-modellering af ”tank i tank”
Solvarmebeholder fra Batec A/S

Rapport
BYG•DTU R-010
2001
ISSN 1601-2917
ISBN 87-7877-066-1

Indholdsfortegnelse

Indholdsfortegnelse	2
Forord	3
Resumé	4
Summary	5
1. Indledning.....	6
2. CFD-model af kombibeholder fra Batec A/S.....	7
2.1 Beskrivelse af CFD-model	7
2.1.1 Netinddeling af model	10
2.1.2 Randbetingelser	12
2.1.3 Beregning af varmeoverføringskoefficienten for ydersiden af varmtvandsbeholderen...	13
2.2 Typiske driftssituationer.....	13
2.2.1 Situation 1	14
2.2.2 Situation 2	15
2.2.3 Oversigt over driftssituationer.....	16
3. Resultater af CFD-beregninger	17
3.1 Driftssituation 1a	17
3.1.1 Temperatur- og strømningsforhold omkring indløb og udløb	18
3.1.2 Varmetransport ved varmtvandsbeholder	25
3.2 Driftssituation 1b.....	27
3.2.1 Temperatur- og strømningsforhold omkring indløb og udløb	29
3.2.2 Varmetransport ved varmtvandsbeholder	34
3.3 Driftssituation 1c	36
3.3.1 Temperatur- og strømningsforhold omkring indløb og udløb	38
3.3.2 Varmetransport ved varmtvandsbeholder	42
3.4 Driftssituation 2a	44
3.4.1 Temperatur- og strømningsforhold omkring indløb og udløb	46
3.4.2 Varmetransport ved varmtvandsbeholder	50
3.5 Driftssituation 2b.....	52
3.5.1 Temperatur- og strømningsforhold omkring indløb og udløb	54
3.5.2 Varmetransport ved varmtvandsbeholder	58
3.6 Driftssituation 2c	60
3.6.1 Temperatur- og strømningsforhold omkring indløb og udløb	62
3.6.2 Varmetransport ved varmtvandsbeholder	67
3.7 Driftssituation 2d.....	69
3.7.1 Temperatur- og strømningsforhold omkring indløb og udløb	71
3.7.2 Varmetransport ved varmtvandsbeholder	75
3.8 Varmetransport ved varmtvandsbeholder ved stilstand i tank	77
3.8.1 Driftssituation 1d.....	77
3.8.2 Driftssituation 2e	81
3.9 Sammenfatning og sammenligning af resultater	84
3.9.1 Temperaturlagdeling	84
3.9.2 Strømningsforhold.....	86
3.9.3 Varmeoverføringskoefficient for yderside af varmtvandsbeholder	87
4. Konklusion	90
Referencer	92

Forord

I dette projekt gennemføres teoretiske undersøgelser af en solvarmebeholder beregnet til kombineret brugsvands- og rumopvarmning. Den undersøgte solvarmebeholder er en prototype fra Batec A/S.

Undersøgelserne, som er finansieret af Energistyrelsen, udgør en del af projektet "Dansk-Schweizisk forskningssamarbejde vedr. solvarmeanlæg", j.nr. 51181/99-0030, under Energistyrelsens udviklingsprogram for Vedvarende Energi m.v, UVE.

Projektgruppe:

Søren Knudsen, civ.ing., PhD-studerende

Simon Furbo, civ.ing., PhD

Louise Jivan Shah, civ.ing., PhD

Michael Ramskov, tegner

Anne Rasmussen, korrespondent

Resumé

En solvarmebeholder beregnet til et solvarmeanlæg til kombineret brugsvands- og rumopvarmning er blevet undersøgt teoretisk. Den undersøgte solvarmebeholder er en akkutank fra Batec A/S. De teoretiske undersøgelser er foretaget ved hjælp af et Computational Fluid Dynamics (CFD) program. Det benyttede CFD-program er CFX 5.4.

Solvarmebeholderen er en "Tank i Tank" beholder, hvor den inderste tank indeholder brugsvand. Den yderste tank opvarmes af solvarme via en varmevekslerspiral i bunden af beholderen. Varmen overføres derfra videre til den inderste beholder gennem den inderste beholdervæg. Hvis der ikke er solvarme nok til at opnå det ønskede temperaturniveau kan beholderens øverste del opvarmes direkte via et gasfyr eller oliefyr. Der kan tages varme ud til rumvarmekredsen via rumvarmekredsens fremløb og returløb til beholderen.

Der er opbygget en model af akkutanken fra Batec A/S i CFD-programmet. Den opbyggede model indeholder nogle forsimplinger i forhold til den virkelige akkutank. CFD-modellen indeholder ikke nogen solvarmeveksler, således at der kun kan simuleres perioder, hvor solfangeren ikke er i drift. Derudover simuleres selve brugsvandet ikke, i stedet indeholder modellen væggen af varmtvandsbeholderen, der har en fastholdt konstant temperatur under simuleringen. Det betyder, at varmetransporten til brugsvandet kan beregnes.

De termiske og strømningsmæssige forhold i akkutanken er blevet undersøgt for 7 forskellige driftssituationer.

Det er undersøgt hvorledes strømningsforholdene er i rumvarmetanken ved de forskellige driftssituationer. Specielt er forholdene omkring indløb fra og udløb til henholdsvis kedelkreds og rumvarmekreds interessante. Samtidig er det undersøgt hvordan temperaturlagdelingen i rumvarmetanken påvirkes af specielt indløbet fra rumvarmekredsen.

Det er undersøgt hvor meget effekt der tilføres brugsvandet ved de forskellige driftssituationer. Derudover er varmeoverføringskoefficienten fra vandet i rumvarmetanken til ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen beregnet som funktion af højden af tanken ved alle driftssituationerne.

Summary

Theoretical investigations of a heat storage for a solar combi system have been carried out. The investigated combi store is manufactured by the Danish company Batec A/S. The theoretical investigations are carried out by means of a Computational Fluid Dynamics (CFD) program. The program CFX 5.4 is used.

The combi store is a “tank in tank” where the domestic hot water (DHW) tank is built in to the space heating storage tank. The space heating storage tank is heated by solar heat by means of a heat exchanger spiral in the bottom part of the tank. The heat is transferred from the space heating storage tank to the DHW tank through the tank wall of the DHW tank. If the required temperature level cannot be reached by the solar heat then the upper part of the storage tank can be heated by an auxiliary boiler.

A model of the combi store from Batec A/S is built up in the CFD program. The model contains some simplifications to make the modelling and the simulation by CFD easier. The heat exchanger spiral in the bottom part of the space heating storage tank is not included in the CFD-model, which means that only periods where the solar collector loop is not in operation can be simulated. Furthermore is the hot domestic water not included in the CFD-model. The tank wall of the DHW tank has instead a constant temperature during the simulation and by this the heat transfer from the space heating storage tank to the DHW tank can be calculated.

The fluid motion and the thermal conditions in the combi store are investigated for 7 different operation conditions.

For the 7 operation conditions the fluid motion is investigated in the space heating storage tank. The conditions around the inlets from and outlets to the auxiliary power supply and the space heating loop is of special interest. It is analysed how the thermal stratification in the space heating storage tank is influenced by especially the inlet from the space heating loop.

The heat transfer rate transferred to the domestic hot water is calculated for the 7 operation conditions. Moreover, the convective heat transfer coefficient from water in the space heating storage tank for the outside of the DHW tank wall is calculated as a function the height of the tank for each of the operation conditions.

1. Indledning

I denne rapport beskrives teoretiske undersøgelser af en solvarmebeholder beregnet til et solvarmeanlæg til kombineret brugsvands- og rumopvarmning. Den undersøgte solvarmebeholder er en akkutank fra Batec A/S. I en anden undersøgelse er akkutanken også blevet undersøgt eksperimentelt på BYG•DTU i rapporten: Undersøgelse af et solvarmeanlæg til kombineret rum og brugsvandsopvarmning, [1].

Formålet med de teoretiske undersøgelser er at undersøge termiske og strømningsmæssige forhold i beholderen under typiske driftsbetingelser.

De teoretiske undersøgelser foretages med et Computational Fluid Dynamics (CFD) program. Et CFD-program er et program, der kan give numeriske løsninger af de beskrivende ligninger for strømmende væsker og gasser samt for varmetransport. Fordelen ved et CFD-program er, at man kan opnå meget detaljerede oplysninger om de strømningsmæssige og termiske forhold. Det anvendte CFD-program hedder CFX 5.4 [2].

Rapporten er opbygget således:

- i afsnit 2 beskrives den opbyggede CFD-model af solvarmebeholderen.
- i afsnit 3 analyseres og diskuteres de beregnede resultater.
- i afsnit 4 gives konklusionerne på undersøgelserne.

Beregningstiden ved brug af CFD programmer kan være temmelig lang, især hvis modellerne er meget komplicerede. Kombibeholderen fra Batec A/S har også nogle detaljer, der kan gøre CFD-modellering endnu mere kompliceret. Der er store dimensionsforskelle mellem for eksempel diameter på kedelindløb og højde af tanken. Der er også store dimensionsforskelle mellem godstykke og højde af tanken. Samtidig er den snoede varmevekslerspiral kompliceret at modellere og der er også store dimensionsforskelle mellem diameteren på varmevekslerrøret og højde af tanken.

Derfor er der foretaget en række simplificeringer, således at den endelige model af kombibeholderen i CFX er noget mere simpel end den virkelige kombibeholder. For det første er varmevekslerspiralen til solvarme udeladt. Det betyder at der kun simuleres perioder, hvor solfangeren ikke er i drift. Dernæst er den inderste tank med brugsvandet udeladt af modellen. Det vil sige der regnes ikke på hvorledes forskellige driftssituationer indvirker på temperaturlagdelingen i brugsvandsdelen af tanken. Dette er ellers interessant at undersøge, men modellen ville blive for omfattende, hvis det skulle undersøges i dette projekt. Endelig er beholdermaterialet også udeladt af modellen. Det betyder, at varmetransporten i beholdermaterialet ikke bliver simuleret. Nedadgående varmetransport i beholdermaterialet kan ellers have stor indflydelse på temperaturlagdelingen i både brugsvandsdelen og i rumvarmedelen, men dette bliver ikke undersøgt i dette projekt.

Ovenstående betyder at modellen kun indeholder vandet i tanken med rumvarmedelen, hvilket vil sige at med den opbyggede model er det kun muligt at undersøge, hvad der sker i tanken med vand til rumvarme. Det er muligt med modellen at undersøge, hvorledes strømningerne ved indløb og udløb påvirker temperaturlagdelingen, samt hvorledes varmetransporten ind til brugsvandet vil være ved forskellige driftssituationer. Endvidere er det også muligt at undersøge den naturlige konvektion i tanken med vand til rumvarme.

Modellen af kombibeholderen i CFX er vist i Figur 2 ved henholdsvis et lodret og et vandret snit.

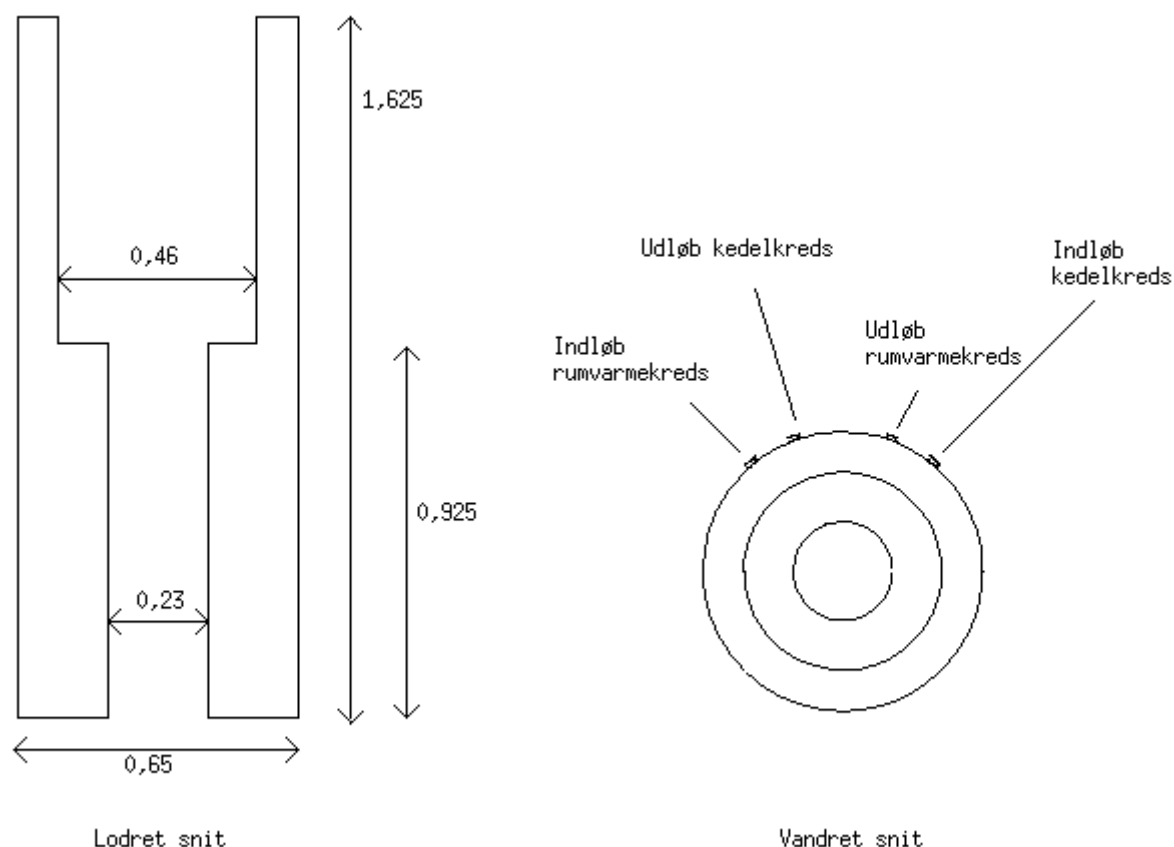
Tabel 1 viser i hvor stor afstand fra bunden at ind- og udløb sidder. De angivne ind- og udløb er 1" studse. Tabel 2 viser volumen af henholdsvis rumvarme og brugsvand i kombibeholderen.

Type	Afstand fra bund af beholder [m]
Indløb fra kedelkreds	1,23
Udløb til kedelkreds	0,58
Indløb fra rumvarmekreds	0,43
Udløb til rumvarmekreds	0,68

Tabel 1: Angivelse af placering af ind- og udløb til kombibeholderen.

	Volumen [l]
Brugsvand	155
Vand til rumvarme	385
Total	540

Tabel 2: Volumen af henholdsvis brugsvand og vand til rumvarme i beholderen.



Figur 2: Lodret og vandret snit af modellen i CFX. Målene er i meter.

Ved simulering med modellen i CFX benyttes en laminar beregningsmodel. Dette er også en simplificering i forhold til virkeligheden, da der ved indløbet fra kedelkredsen i de fleste tilfælde vil være turbulent. Den laminare beregningsmodel har en væsentlig kortere beregningstid end en turbulent beregningsmodel, hvilket er årsagen til at den laminare beregningsmodel benyttes. Turbulensen er begrænset til en meget lille del af beholderen, så derfor vurderes det, at den laminare model kan bruges.

Naturlig konvektion, der er forårsaget af massefyldeforskelle, kan beregnes på flere måder. I dette tilfælde i CFX beregnes den naturlige konvektion ved hjælp af Boussinesq's opdrift approksimation, der er god til simulering af strømninger forårsaget af forholdsvis små temperaturforskelle [2, 3]. Boussinesq's opdrift approksimation beregner massefyldeforskellene ved hjælp af følgende ligning:

$$\Delta\rho = \rho \cdot \beta \cdot (T - T_{ref}) \quad (1)$$

hvor

T	variabel temperatur	[K]
T _{ref}	referencetemperatur	[K]
β	rumudvidelseskoefficient	[K ⁻¹]
ρ	massefylde ved referencetemperaturen	[kg/m ³]

$\Delta\rho$ massefyldeforskel (forskel fra referencetilstand) [kg/m³]

Denne temperaturafhængighed af massefylden indgår så i løsningen af Navier-Stokes ligninger, mens alle andre stofværdier antages at være konstante.

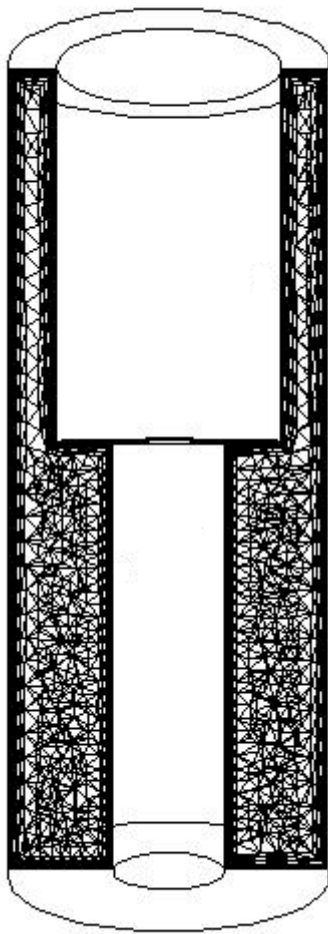
Beregningerne er i CFX foretaget med et tidsskridt på 1 sekund.

2.1.1 Netinddeling af model

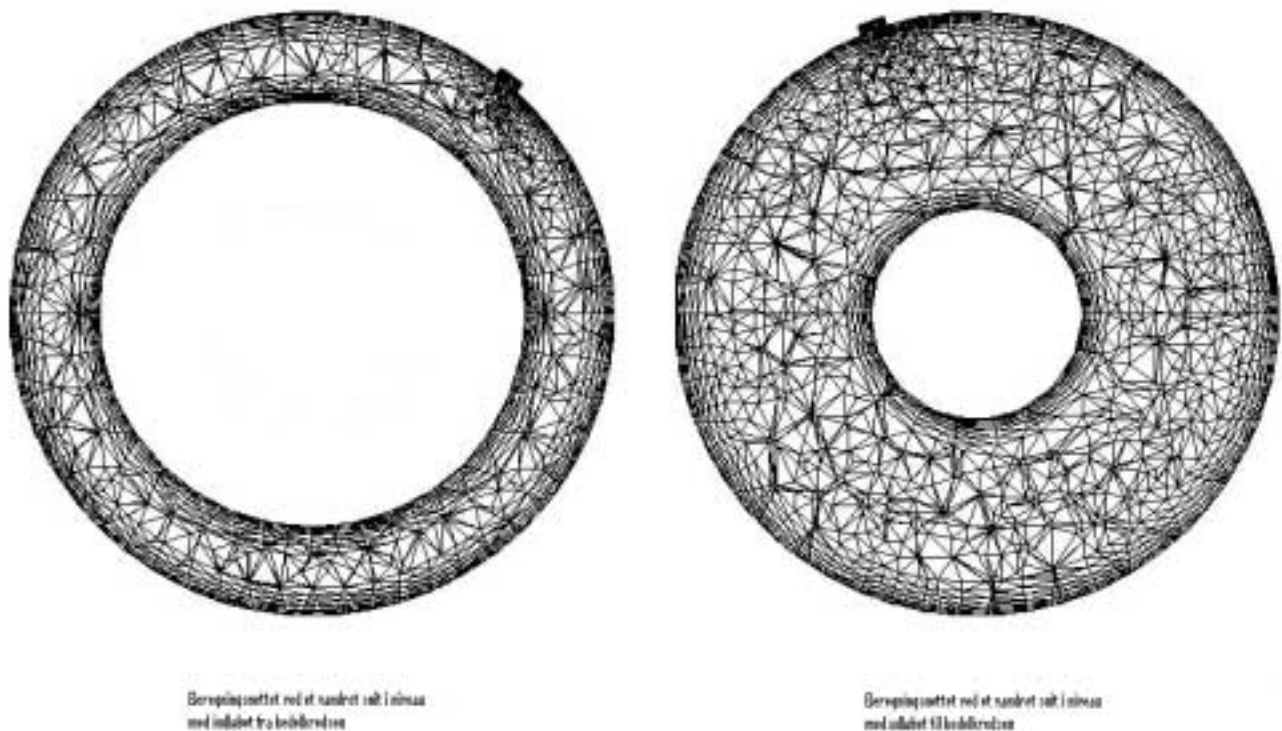
Modellen af kombibeholderen er i CFX inddelt i et beregningsnet bestående af små celler. Beregningsnettet består af prizmer tæt på beholdervæggene, mens det består af tetraeder i resten af modellen. Det vil sige at beregningsnettet er mere fint tæt på beholdervæggene, hvor der kan forekomme store flow og temperaturændringer, samt at det er mere groft i resten af beholderen. Tabel 3 viser antallet af beregningsceller i modellen i CFX. Figur 3 viser beregningsnettet ved et lodret snit i beholderen, mens Figur 4 viser beregningsnettet ved vandrette snit i beholderen i niveau med henholdsvis indløb fra kedelkreds og udløb til kedelkreds.

Tetraeder	51362
Prizmer	55428
Totalt antal elementer	106790

Tabel 3: Antal beregningsceller i modellen i CFX.



Figur 3: Beregningsnettet ved et lodret snit i beholderen.



Figur 4: Beregningsnettet ved et vandret snit i niveau med henholdsvis indløb fra kedelkreds (tv.) og udløb til kedelkreds (th.).

2.1.2 Randbetingelser

Der skal benyttes en række randbetingelser i modellen. Disse randbetingelser varierer dog fra driftssituation til driftssituation men princippet i dem vil blive beskrevet i det følgende, og så vil de nøjagtige værdier blive angivet i beskrivelsen af hver enkelt driftssituation.

Der skal angives randbetingelser for beholderens vægge, og det er både for varmtvandsbeholderens vægge samt for beholdervæggen. Derudover skal der angives randbetingelser for henholdsvis indløb og udløb.

Randbetingelserne for væggene er delt op, så der sættes forskellige typer af randbetingelser for henholdsvis væggene mod brugsvandet og væggene mod det fri. For væggene mod brugsvandet angives der en fast temperatur af væggen, som den vil have under hele simuleringen. Denne faste temperatur kan variere med højden af væggen. Anvendelsen af den faste temperatur på væggen mod brugsvandet gør, at det er muligt - under de angivne forhold - at beregne hvor stor varmemstrømmen samt varmetransmissionskoefficienten vil være fra vandet i rumvarmetanken til varmtvandsbeholdervæggen.

For væggene mod det fri angives en varmemstrøm fra vandet i rumvarmetanken mod det fri. Denne varmemstrøm beregnes ud fra temperaturen af vandet i rumvarmetanken, temperaturen af den omgivende luft og beholderens varmetabskoefficient. Temperaturen af den omgivende luft er i alle tilfælde sat til 20°C. Tabel 4 viser de beregnede varmetabskoefficienter for henholdsvis top, sider

og bund af beholderen. Top og sider er isoleret med 100 mm skummåtte med en varmeledningsevne på 0,045 W/m·K. Beholderens bund er uisoleret.

Del af beholder	Varmetabskoefficienter [W/K]
Top	0,2
Bund	2,5
Sider	1,7
Total	4,4

Tabel 4: Beregnede varmetabskoefficienter for beholder.

Indløbene fra henholdsvis kedelkreds og rumvarmekreds skal angives med en massestrøm og en temperatur af det indkommende vand. Udløbet til rumvarmekredsen angives ved en massestrøm, som svarer til massestrømmen defineret ved indløbet fra rumvarmekredsen. Der skal ikke angives en temperatur af det udstømmende vand, da den beregnes af CFX. Udløbet til kedelkredsen er defineret som en "opening", der betyder at CFX ved hjælp af kontinuitetsligningen beregner massestrømmen således, at der strømmer lige så meget ud af beholderen, som der strømmer ind. Fordelen ved at benytte "opening" er, at der i programmet kan tages højde for, hvis der skulle opstå recirkulation lige ved udløbet. Dette er nærmere beskrevet i [2].

Temperaturen af vandet i rumvarmetanken ved beregningernes start skal angives. Temperaturen angives som en funktion af beholderhøjden, således at der er en realistisk temperaturlagdeling i rumvarmetanken ved beregningernes start. Der regnes ikke fra starten med horisontal temperaturlagdeling.

2.1.3 Beregning af varmeoverføringskoefficienten for ydersiden af varmtvandsbeholderen

CFX beregner varmefluxen [W/m²] mellem vandet i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvandet i forskellige højder i tanken. Varmeoverføringskoefficienten mellem vand i rumvarmetank og tankvæg mod brugsvand beregnes af følgende ligning:

$$h_{c,z} = \frac{q_{w,z}}{T_{f,z} - T_{w,z}} \quad (2)$$

hvor:

$h_{c,z}$	er varmeoverføringskoefficienten i højden "z"	[W/m ² ·K]
$q_{w,z}$	er varmefluxen i højden "z"	[W/m ²]
$T_{f,z}$	er middeltemperaturen af rumvarmevandet i højden "z"	[K]
$T_{w,z}$	er temperaturen af tankvæggen mod brugsvandet i højden "z"	[K]

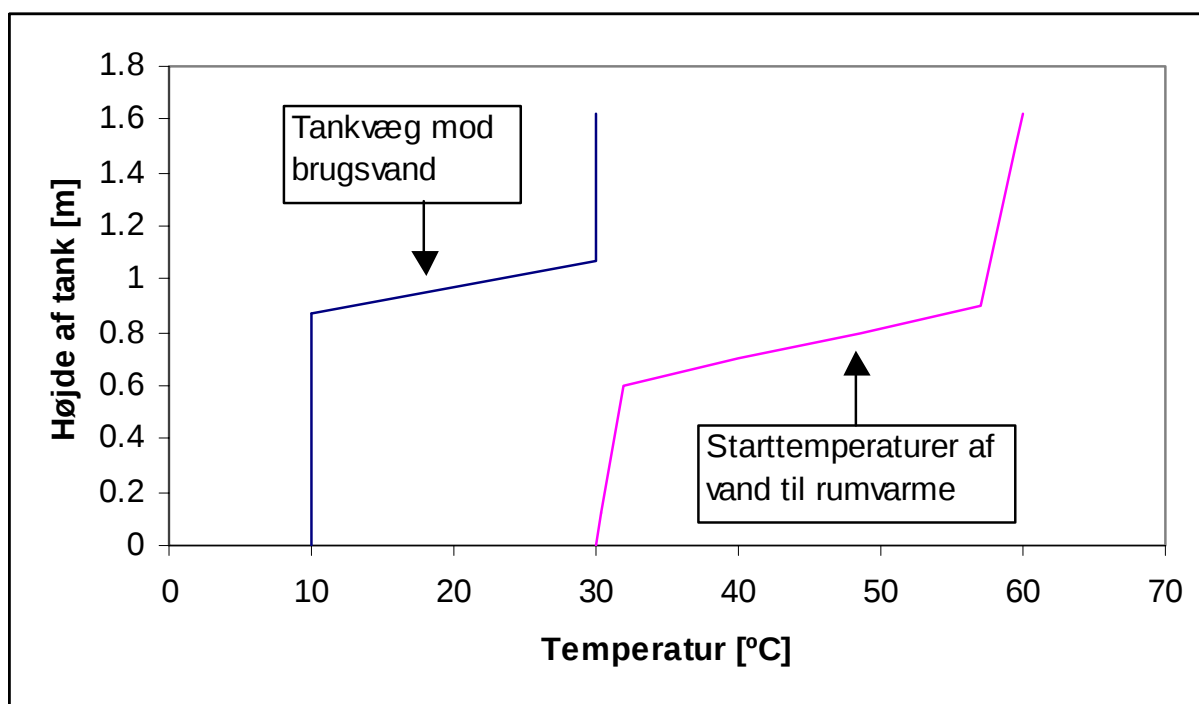
2.2 Typiske driftssituationer

To forskellige typiske situationer er blevet undersøgt. Den ene situation (driftssituation 1) svarer til at der lige er blevet tappet en stor mængde varmt brugsvand, således at brugsvandet er blevet koldt, mens vandet til rumvarme stadigvæk er forholdsvis varmt. Ved den anden situation (driftssituation 2) er både brugsvand og vand til rumvarme varmet op. Ved begge disse to overordnede situationer er foretaget simulering med forskellig drift af henholdsvis kedel- og rumvarmekreds, således at der

i alt er simuleret 7 forskellige driftssituationer. For hver af de angivne driftssituationer er simuleringerne foretaget så det svarer til 10 minutters drift.

2.2.1 Situation 1

Situation 1 svarer til en situation hvor der lige er tappet en stor mængde varmt brugsvand. Denne situation er delt op i 3 driftssituationer (driftssituation 1a, 1b og 1c) med forskellig drift af kedel- og rumvarmekreds. Figur 5 viser temperaturprofiler for henholdsvis varmtvandsbeholdervæggen og for vandet i rumvarmedelen. Temperaturprofilet for tankvæggen bibeholdes under hele simuleringen, mens temperaturprofilet for rumvarmevandet kun er et startprofil.



Figur 5: Starttemperaturprofiler ved driftssituation 1.

Driftssituation 1a:

Kedelkredsen er i drift med en volumenstrøm på 10 l/min og en fremløbstemperatur til beholderen på 65°C. Rumvarmekredsen er ikke i drift.

Driftssituation 1b:

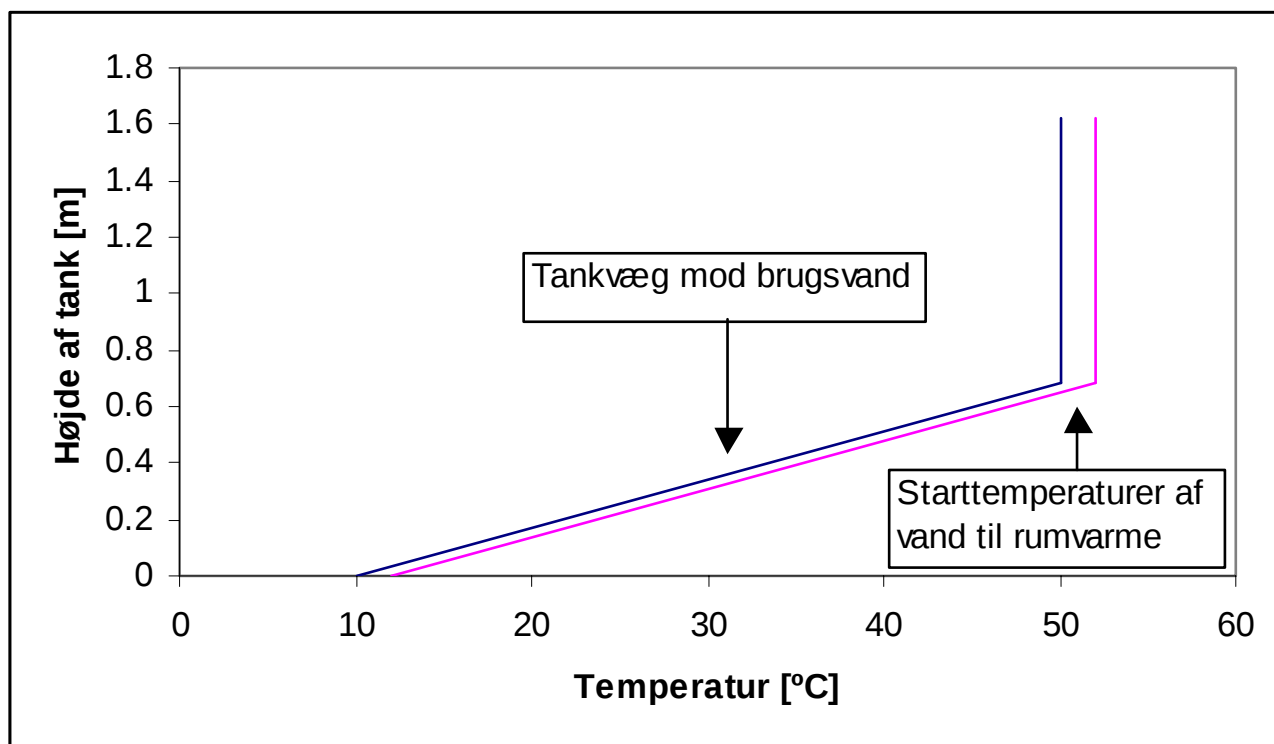
Kedelkredsen er i drift med en volumenstrøm på 10 l/min og en fremløbstemperatur til beholderen på 65°C. Rumvarmekredsen er i drift med en volumenstrøm på 0,7 l/min og en returtemperatur til beholderen på 20,5°C.

Driftssituation 1c:

Kedelkredsen er i drift med en volumenstrøm på 10 l/min og en indløbstemperatur til beholderen på 65°C. Rumvarmekredsen er i drift med en volumenstrøm på 1,4 l/min og en returtemperatur til beholderen på 20,5°C.

2.2.2 Situation 2

Situation 2 svarer til en situation hvor både brugsvand og rumvarmevand er varmet op. Denne situation er delt op i 4 driftssituationer (driftssituation 2a, 2b, 2c og 2d) med forskellig drift af kedel- og rumvarmekreds. Figur 6 viser temperaturprofiler for varmtvandsbeholdervæggen og for vandet i rumvarmedelen. Temperaturprofilet for tankvæggen bibeholdes under hele simuleringen, mens temperaturprofilet for rumvarmevandet kun er et startprofil.



Figur 6: Starttemperaturprofiler ved driftssituation 2.

Driftssituation 2a:

Kedelkredsen er i drift med en volumenstrøm på 10 l/min og en fremløbstemperatur til beholderen på 65°C. Rumvarmekredsen er ikke i drift.

Driftssituation 2b:

Kedelkredsen er i drift med en volumenstrøm på 10 l/min og en fremløbstemperatur til beholderen på 65°C. Rumvarmekredsen er i drift med en volumenstrøm på 1,4 l/min og en returtemperatur til beholderen på 20,5°C.

Driftssituation 2c:

Kedelkredsen er ikke i drift. Rumvarmekredsen er i drift med en volumenstrøm på 1,4 l/min og en returtemperatur til beholderen på 20,5°C.

Driftssituation 2d:

Kedelkredsen er ikke i drift. Rumvarmekredsen er i drift med en volumenstrøm på 1,4 l/min og en returtemperatur til beholderen på 30°C.

2.2.3 Oversigt over driftssituationer

Tabel 5 viser en oversigt over de 7 driftssituationer.

Driftssituation	Kedelkreds				Rumvarmekreds			
	Flow [l/min]	Indløbs- temperatur [°C]	Indløbs- hastighed [m/s]	Re _{indløb} [-]	Flow [l/min]	Indløbs- temperatur [°C]	Indløbs- hastighed [m/s]	Re _{indløb} [-]
1a	10	65	0,24	14923	0	-	0	-
1b	10	65	0,24	14923	0,7	20,5	0,017	481
1c	10	65	0,24	14923	1,4	20,5	0,033	961
2a	10	65	0,24	14923	0	-	0	-
2b	10	65	0,24	14923	1,4	20,5	0,033	961
2c	0	-	0	-	1,4	20,5	0,033	961
2d	0	-	0	-	1,4	30	0,033	1132

Tabel 5: Oversigt over nøgletal for de syv driftssituationer.

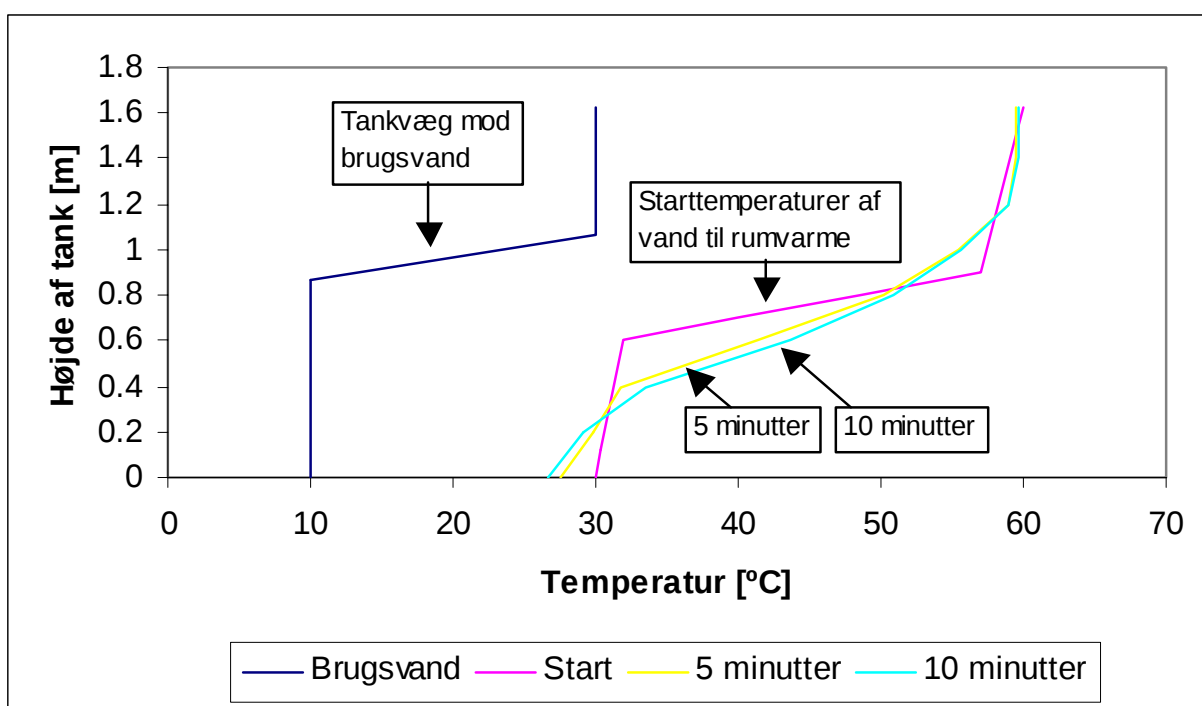
3. Resultater af CFD-beregninger

Der er foretaget en række simuleringer med den opbyggede CFD-model af kombibeholderen fra Batec A/S. Formålet med simuleringerne er at undersøge strømningsforhold og varmetransport i beholderen under en række typiske driftsforhold.

Hver af de syv driftssituationer undersøges i første omgang hver for sig, og bagefter sammenlignes resultaterne af de forskellige driftssituationer. Ved hver driftssituation undersøges udviklingen af temperaturlagdelingen i rumvarmetanken samt udviklingen af ind- og udløbstemperaturer til rumvarmetanken. Derudover undersøges hvorledes temperaturforhold og strømningsforhold er omkring ind- og udløb ved simuleringens slutning. Endelig undersøges varmetransporten og varmeoverføringskoefficienten mellem rumvarmevand og varmtvandsbeholdervæggen.

3.1 Driftssituation 1a

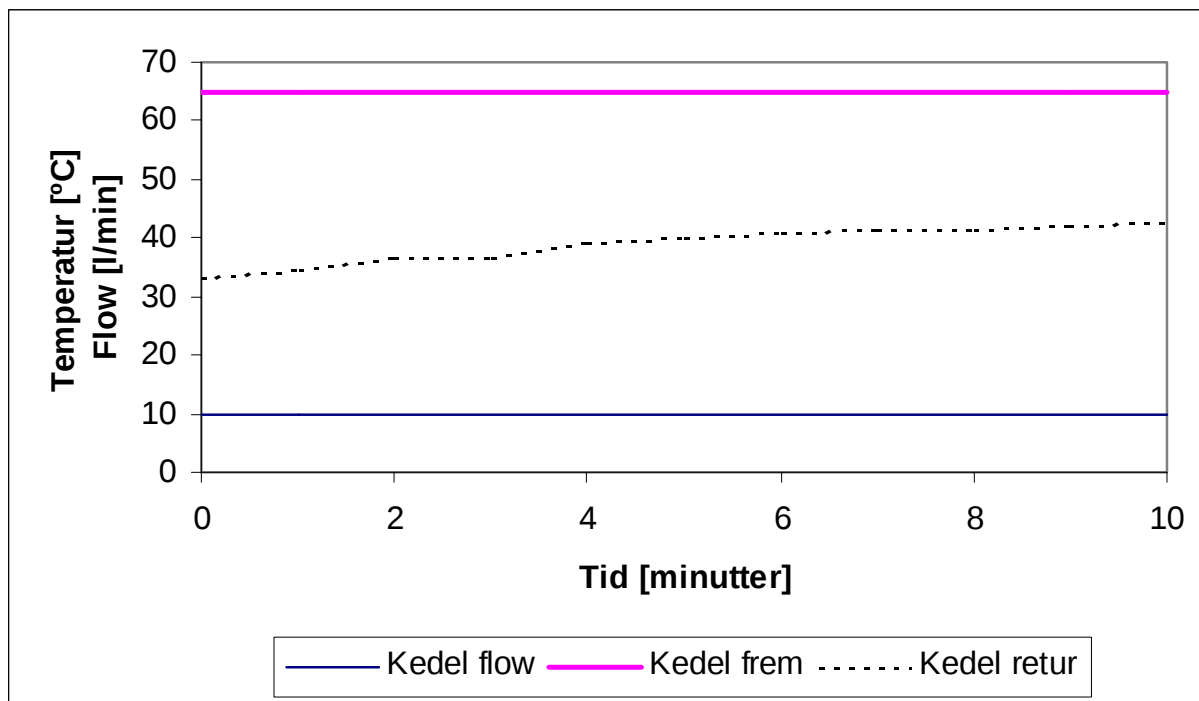
Ved driftssituation 1a benyttes starttemperaturerne angivet i Figur 5, og kedlen er i drift med et flow på 10 l/min og en fremløbstemperatur til rumvarmetanken på 65°C. Rumvarmekredsen er ikke i drift.



Figur 7: Beregnede temperaturer i rumvarmetanken ved start, efter 5 minutter og efter 10 minutter ved driftssituation 1a.

Figur 7 viser temperaturlagdelingen i rumvarmetanken ved simuleringens start, efter 5 minutter og efter 10 minutter. Temperaturerne efter henholdsvis 5 minutter og 10 minutter er vægtede middeltemperaturer i hvert højdeniveau, da der forekommer horisontal temperaturlagdeling ved simuleringerne. Det ses af Figur 7, at den største del af energitilførslen fra kedelkredsen går til at

varme den mellemste del af rumvarmevandet op. Samtidig sker den største ændring fra start til det 5. minut, mens der ikke er den store ændring fra det 5. til det 10. minut. Årsagen til at den største ændring i temperaturprofilen sker i starten skal findes i det forhold, at varmtvandsbeholdervæggens temperatur er konstant under simuleringen, og efter simulering af 5 minutters drift begynder den tilførte effekt fra kedelkredsen at svare til effekten der afgives til varmtvandsbeholdervæggen samt til varmetab. Endvidere ses det, at temperaturen i toppen af rumvarmetanken ikke bliver højere end 60°C på trods af at indløbstemperaturen fra kedelkredsen er 65°C.



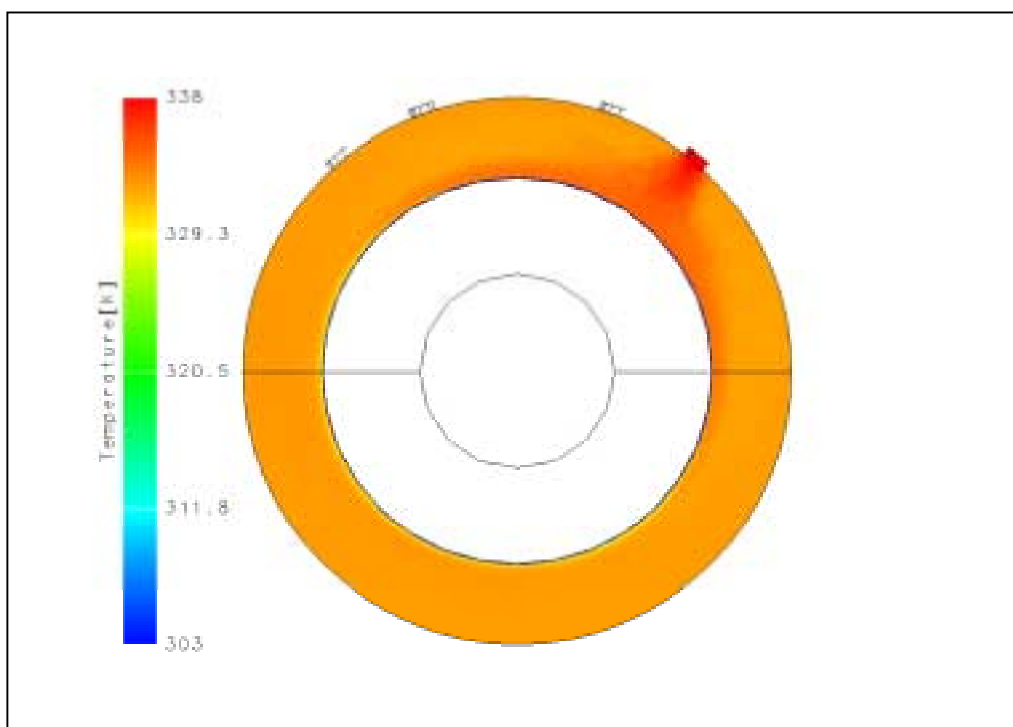
Figur 8: Ind- og udløbstemperatur fra kedelkredsen samt flow i kedelkredsen som funktion af tiden for driftssituation 1a. Den tilførte effekt fra kedelkredsen er efter 10 minutters drift 16 kW.

Figur 8 viser de beregnede temperaturer for ind- og udløb af kedelkredsen og flowet i kedelkredsen som funktion af tiden. Det ses, at indløbstemperaturen fra kedelkreds til rumvarmetank samt flow i kedelkredsen er konstant på henholdsvis 65°C og 10 l/min. Udløbstemperaturen fra rumvarmetank til kedelkreds stiger fra 33°C til 43°C som følge af opvarmningen af den midterste del af tanken af kedelkredsen. Den tilførte effekt fra kedelkredsen falder i løbet af de 10 minutters drift fra 22 kW til 16 kW.

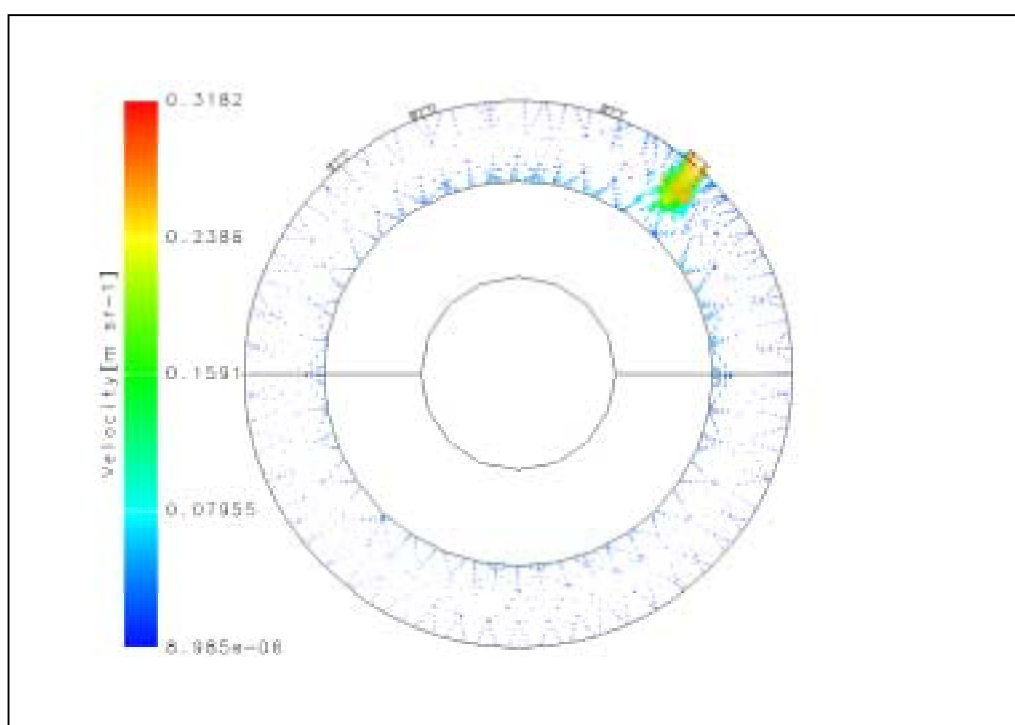
3.1.1 Temperatur- og strømningsforhold omkring indløb og udløb

Figur 9 viser temperaturen af rumvarmevandet i et vandret snit i niveau med indløbet fra kedelkredsen (1,23 m fra bunden af tanken). Det ses at det varme vand fra kedelkredsen kommer ind i tanken og spreder sig rundt om tankvæggen ind til brugsvandet.

Figur 10 og Figur 11 viser strømningerne i et vandret snit ud for indløbet fra kedelkredsen. Det ses af Figur 10 (størrelsen af vektorerne angiver størrelsen af strømmingen), at strømmingen er meget kraftig lige omkring indløbet samt at indløbsstrømmen rammer tankvæggen mod brugsvandet og derefter strømmer rundt langs tankvæggen. Der ses også lige en antydning af en mindre recirkulation på hver side af indløbsstrømmen. De øvrige strømninger er meget små.



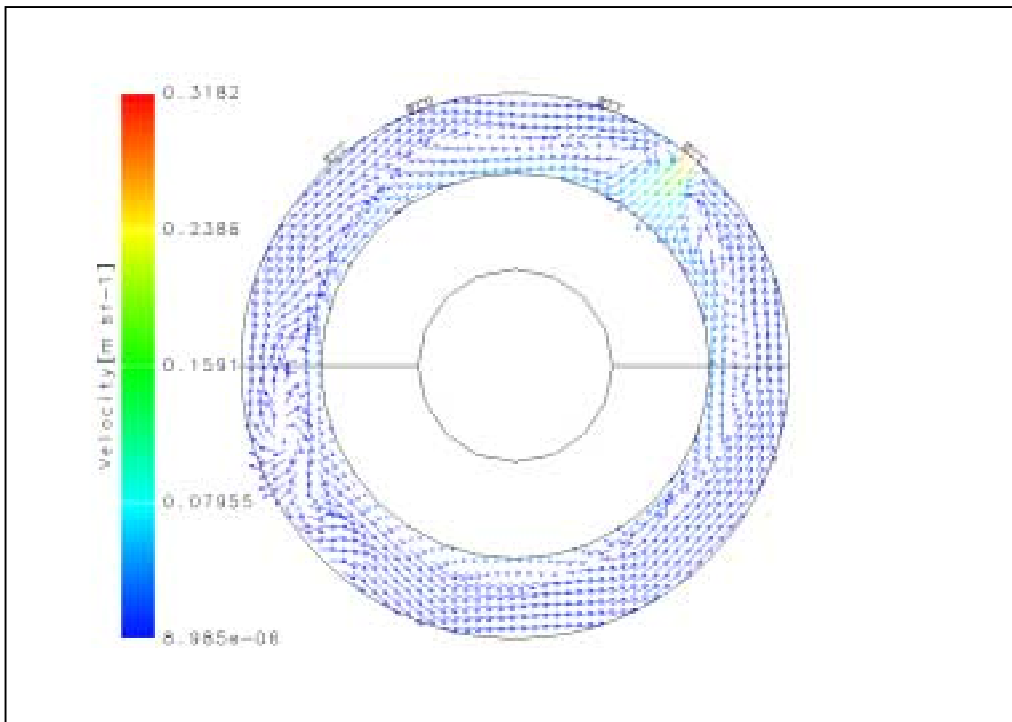
Figur 9: Beregnede temperaturer af rumvarmevandet ved et vandret snit udfor indløbet fra kedelkredsen (efter 10 minutters opvarmning). Farveskalaen angiver temperaturerne i [K].



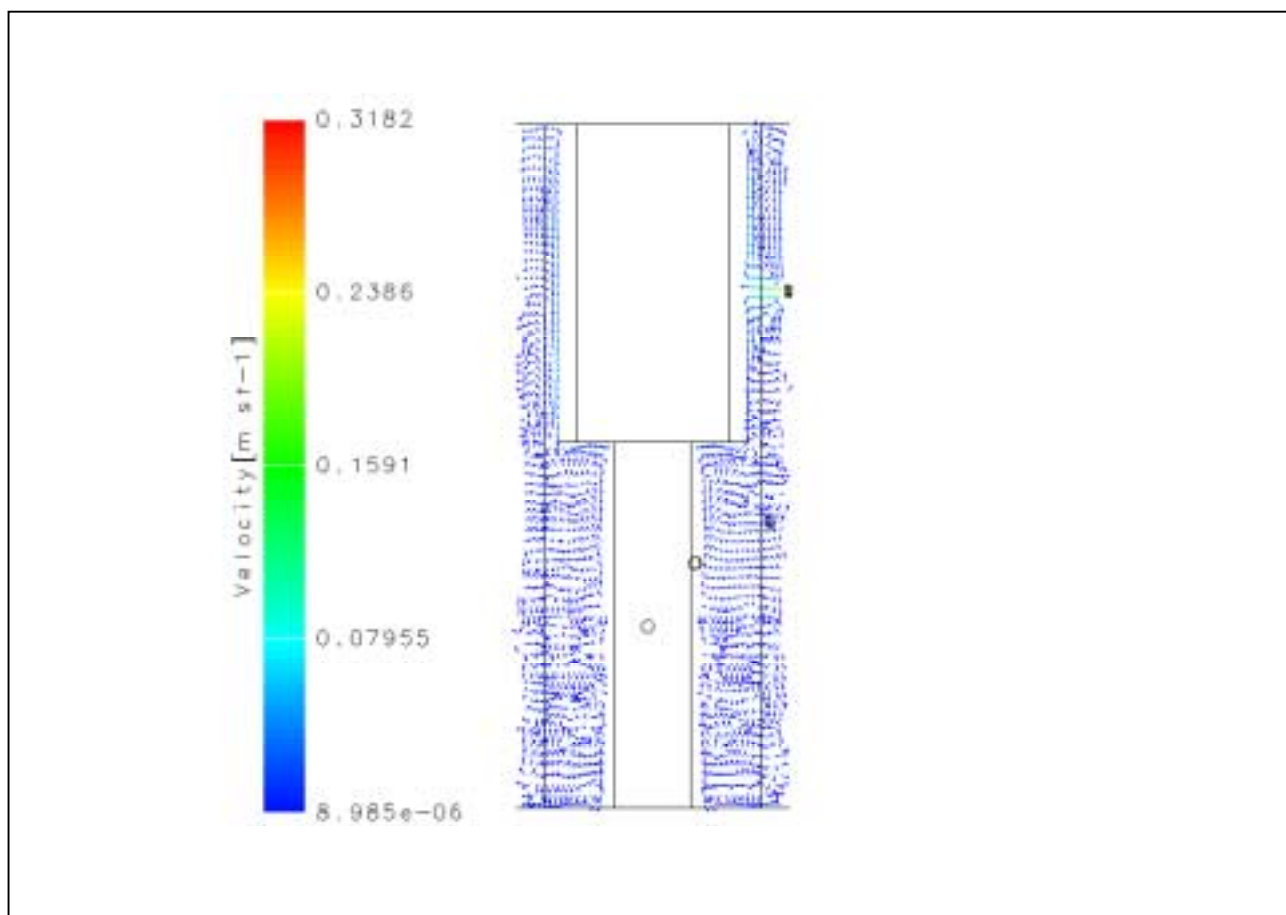
Figur 10: Hastighedsvektorer i et vandret snit udfor indløbet fra kedelkredsen. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].

I Figur 11 har vektorernes størrelse ingen sammenhæng med strømningens størrelse, de angiver kun strømningens retning. Strømningens størrelse angives af farveskalaen. Her ses det tydeligere, at strømningen kommer ind og rammer tankvæggen mod brugsvandet og derefter strømmer vandet rundt tæt langs tankvæggen. Recirkulationen på hver side af indløbsstrømmen ses også tydeligere på denne figur. Det ses endvidere, at strømningen ikke er fuldstændig symmetrisk rundt om tankvæggen mod brugsvandet. Det skyldes at udløbet til kedelkredsen er drejet 60° i forhold til indløbet fra kedelkredsen.

Figur 12 viser strømningen i et lodret snit udfor indløbet fra kedelkredsen. Det ses, som det også fremgår af Figur 10 og Figur 11, at vandet fra indløbet strømmer vandret ind og rammer tankvæggen mod brugsvandet, herfra er der noget der strømmer ned langs tankvæggen og højest sandsynligt ned mod udløbet til kedelkredsen, mens der også er noget, der strømmer op langs tankvæggen mod toppen af beholderen. Der er en nedadrettet strømning langs tankvæggen mod brugsvandet i siden modsat indløbet fra kedelkredsen.



Figur 11: Vektorer, der viser strømningen i et vandret snit udfor indløbet fra kedelkredsen. Størrelsen af vektorerne viser ikke noget om strømningens størrelse, men viser kun strømningens retning. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].

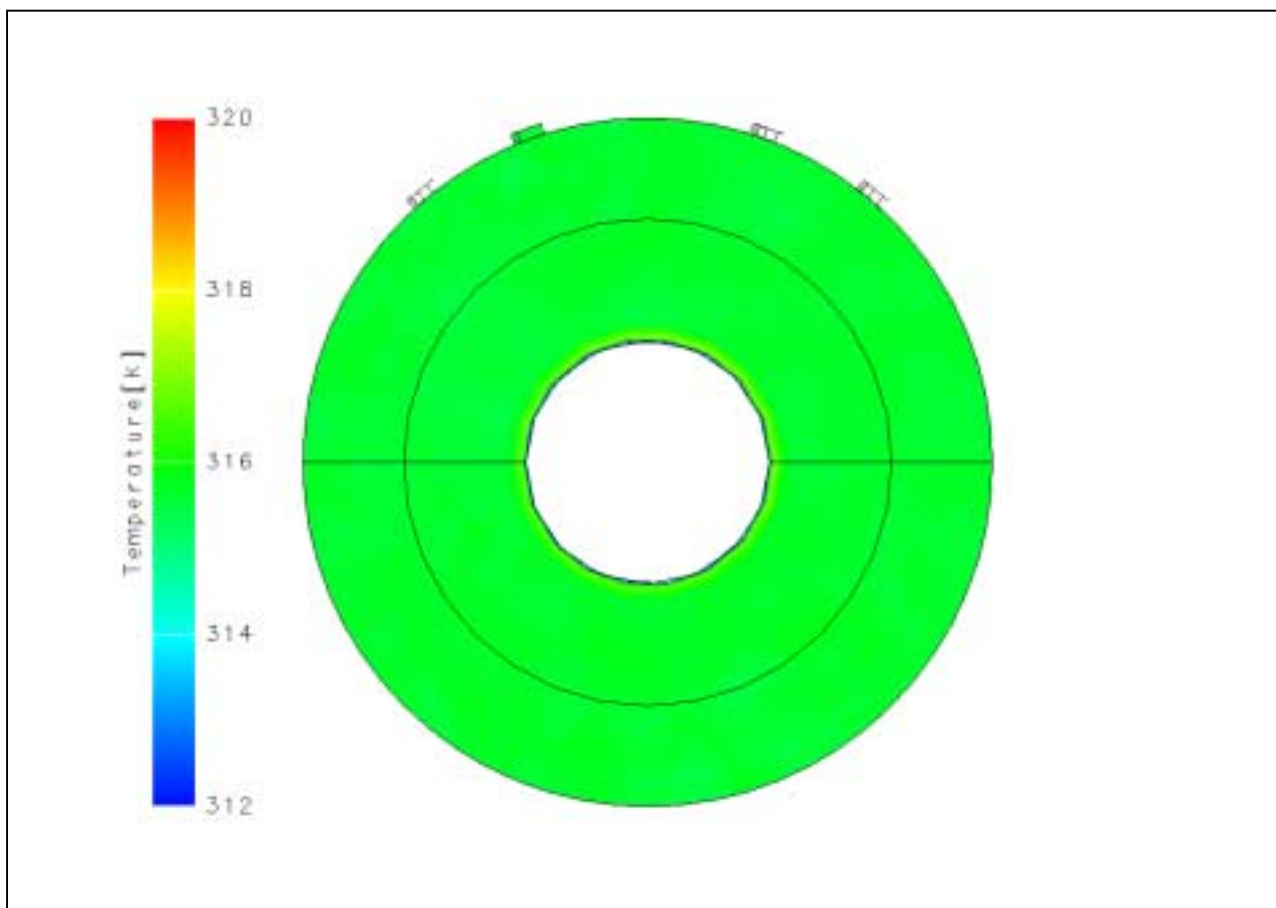


Figur 12: Vektorer, der viser strømmingen i et lodret snit udfor indløbet fra kedelkredsen. Størrelsen af vektorerne viser ikke noget om strømmingens størrelse, men viser kun strømmingens retning. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].

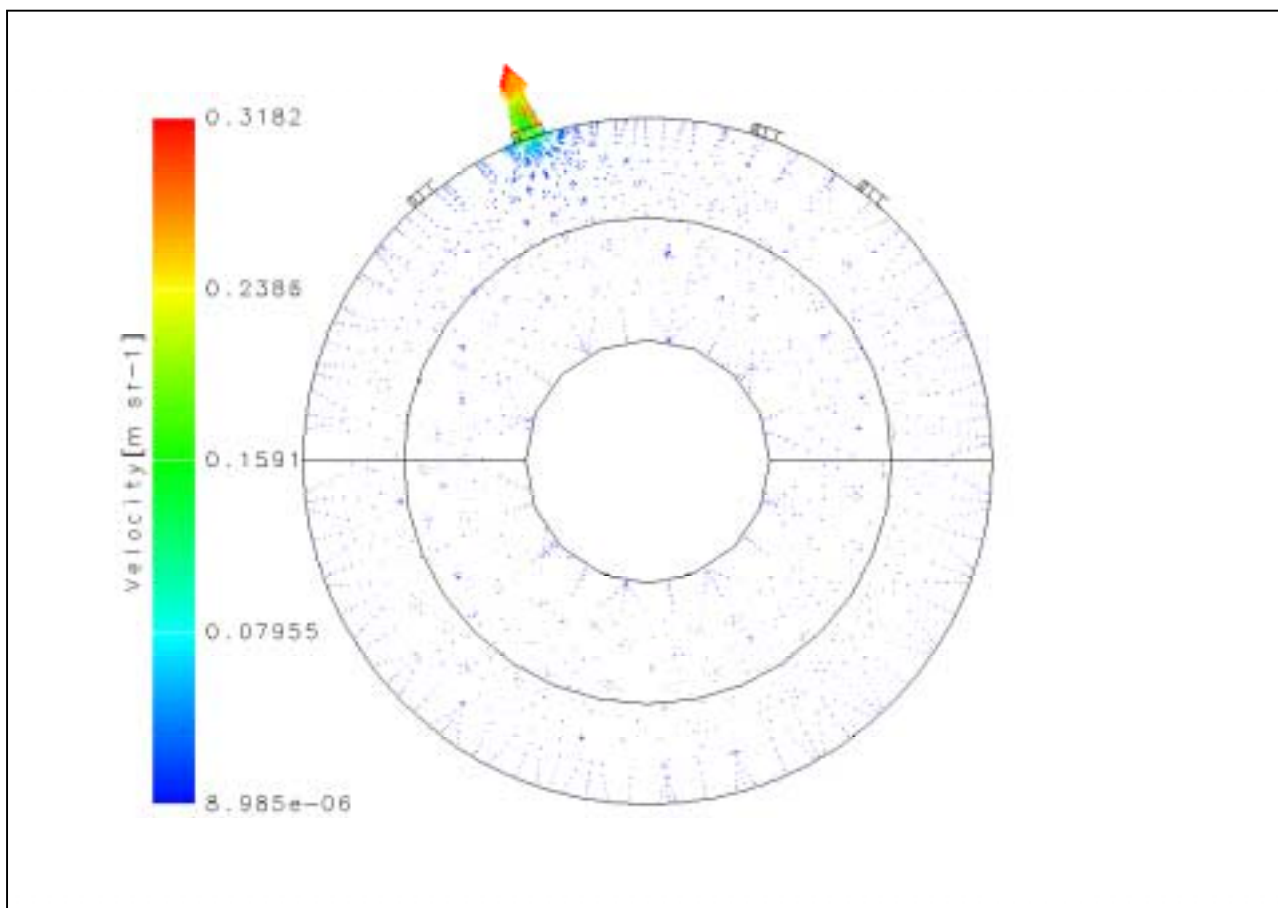
Figur 13 viser temperaturen af rumvarmevandet i et vandret snit i niveau med udløbet til kedelkredsen (0,58 m fra bunden af tanken). Det ses, at temperaturen er konstant i dette niveau bortset fra grænselaget tæt mod tankvæggen mod brugsvand, hvor temperaturen er lidt lavere.

Figur 14 og Figur 15 viser strømmingerne i et vandret snit udfor udløbet til kedelkredsen. Figur 14 viser strømmingerne, hvor vektorernes størrelse afhænger af strømningshastigheden, og heraf ses det, at det kun er tæt på udløbet at strømmingerne har en vis størrelse. De øvrige strømninger er meget små. Figur 15 viser strømmingernes retning (vektorenes størrelse siger ikke noget om strømmingens størrelse). Det ses, at stort set al strømmingen i det vandrette plan er drejet over mod udløbet.

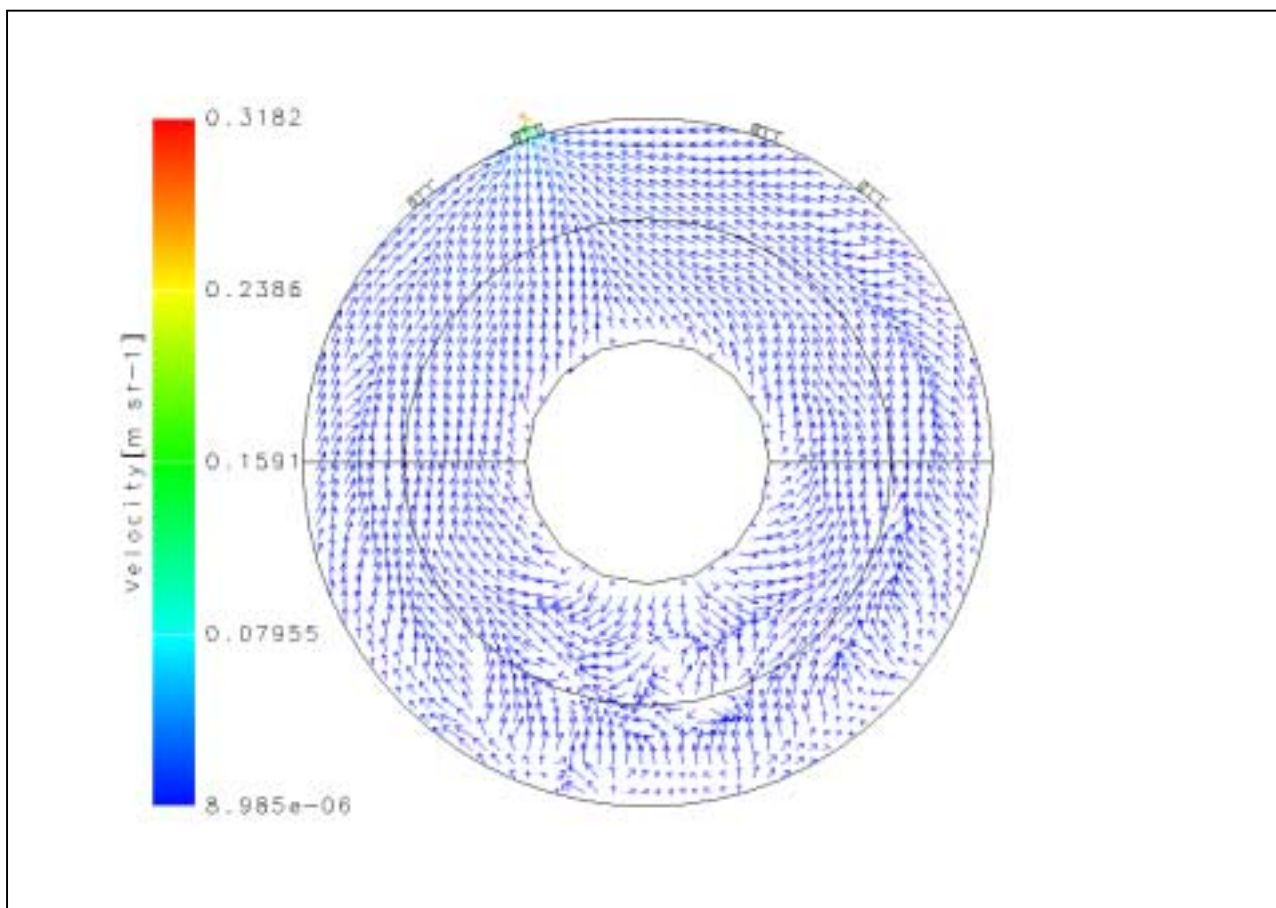
Figur 16 viser strømmingerne i et lodret snit udfor udløbet til kedelkredsen. Det ses, at udløbet kun har indflydelse på strømmingerne tæt på udløbet. De øvrige strømninger er meget små.



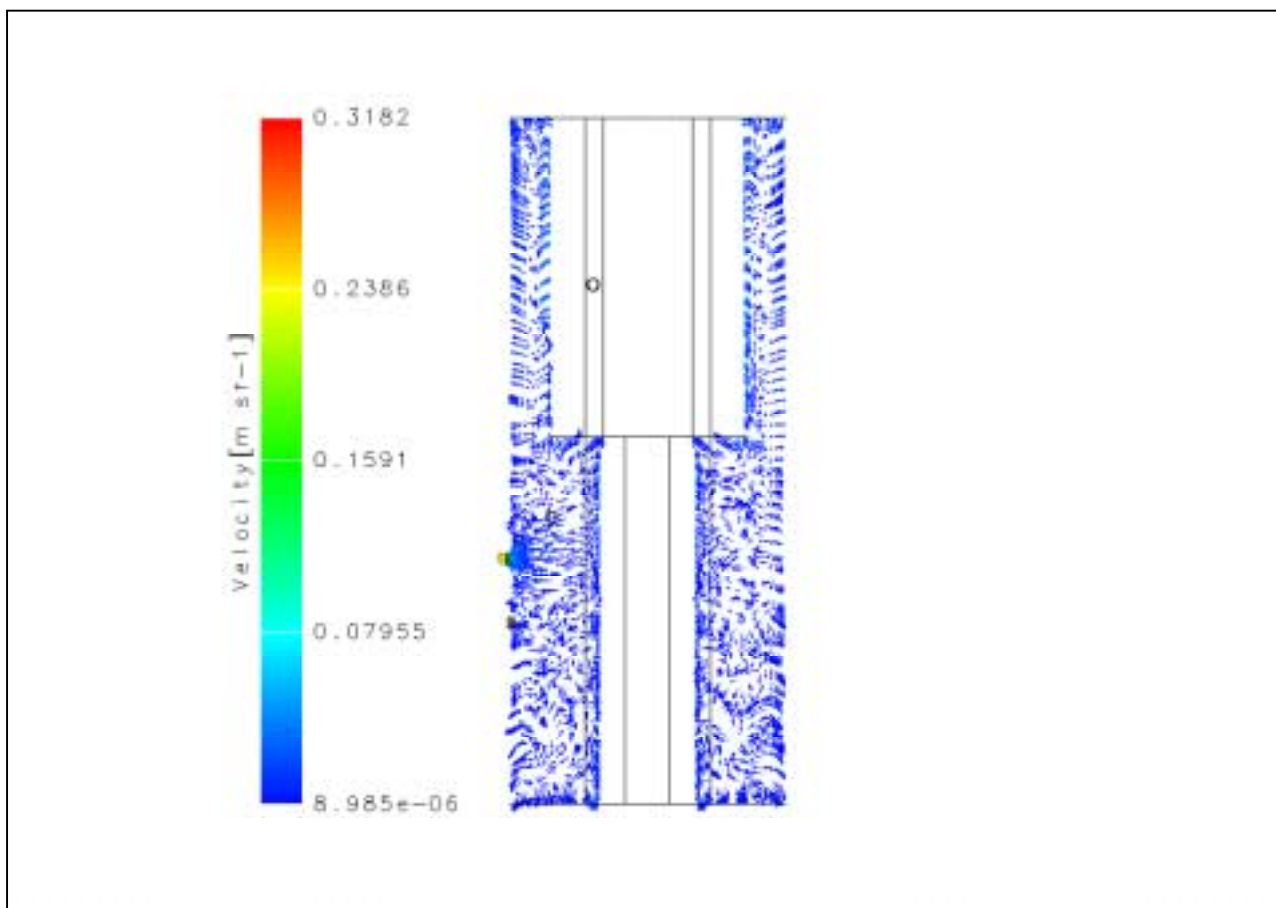
Figur 13: Beregnede temperaturer af rumvarmevandet ved et vandret snit udfor udløbet til kedelkredsen (efter 10 minutters opvarmning). Farveskalaen angiver temperaturer i [K].



Figur 14: Hastighedsvektorer i et vandret snit udfor udløbet til kedelkredsen. Farveskalen angiver hastigheden i [m/s].



Figur 15: Vektorer, der viser strømmingen i et vandret snit udfor udløbet til kedelkredsen. Størrelsen af vektorerne viser ikke noget om hastighedens størrelse, men viser kun strømmingens retning. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].



Figur 16: Vektorer, der viser strømmingen i et lodret snit udfør udløbet til kedelkredsen. Størrelsen af vektorerne viser ikke noget om strømningens størrelse, men viser kun strømningens retning. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].

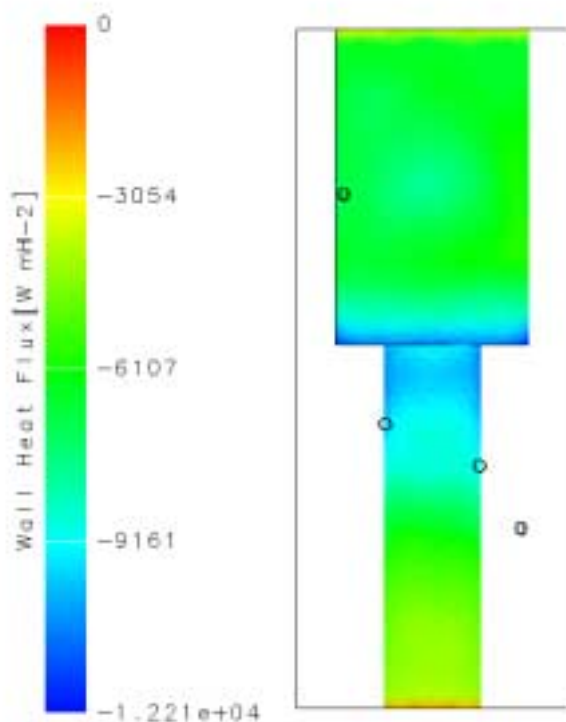
3.1.2 Varmetransport ved varmtvandsbeholder

CFD-programmet beregner varmetransporten mellem vand i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvandet, mens varmeoverføringskoefficienten mellem vand i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvand (dvs. ydersiden af varmtvandsbeholderen) beregnes ved ligning (2).

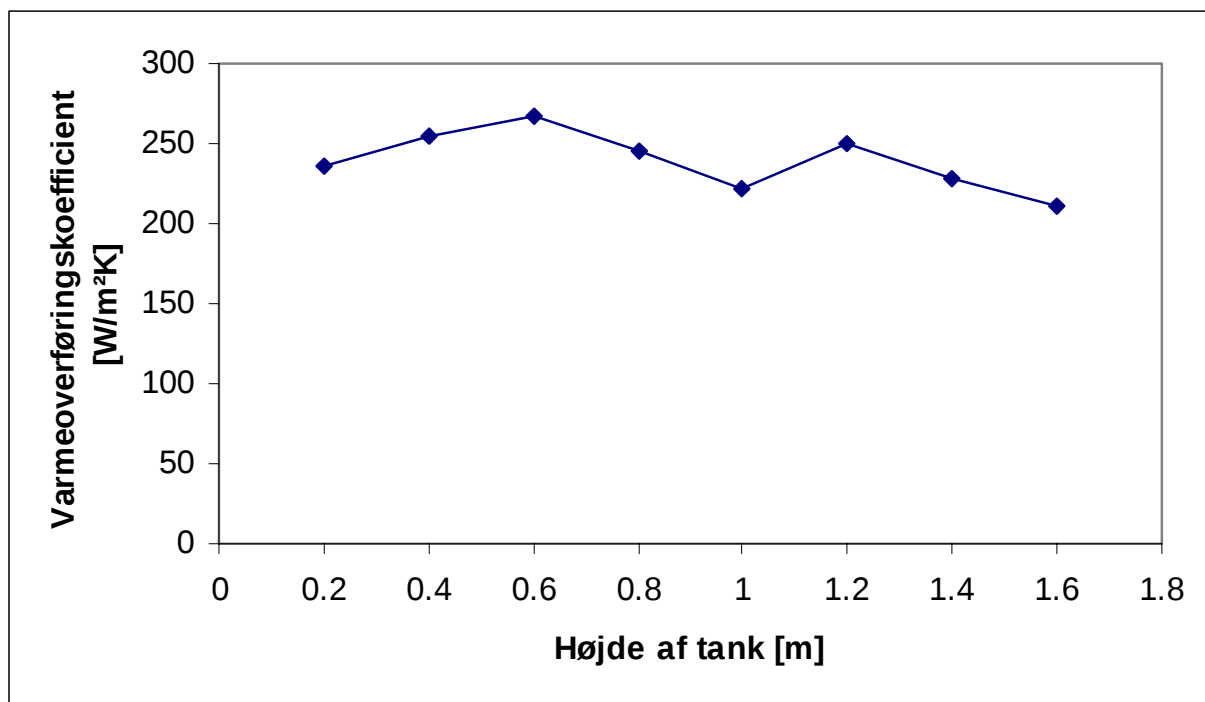
Figur 17 viser den beregnede varmefflux mellem vandet i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvandet. En negativ varmefflux på Figur 17 betyder, at varmen overføres fra rumvarmevand til tankvæg mod brugsvand. Det ses, at varmeffluxen er størst på den midterste del af tankvæggen, hvilket vil sige lige over udløbet til kedelkredsen. Der er to årsager til dette, den ene er, at det er i dette niveau der er størst temperaturforskel mellem rumvarmevand og tankvæg mod brugsvand. Den anden årsag er, at der er en god nedadrettet strømning tæt på tankvæggen mod brugsvandet, da vandet strømmer ned mod udløbet til kedelkredsen. Den samlede overførte effekt fra rumvarmetanken til varmtvandsbeholderen er ved denne driftssituation $7,1 \text{ kW/m}^2$ svarende til 13 kW.

Figur 18 viser den beregnede varmeoverføringskoefficient fra vandet i rumvarmetanken til varmtvandsbeholdervæggen som funktion af højden. Varmeoverføringskoefficienten varierer

mellem $210 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ og $270 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Den gennemsnitlige varmeoverføringskoefficient er ved denne driftssituation beregnet til $239 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ og totalt overføres der 440 W/K .



Figur 17: Den beregnede varmeflux mellem rumvarmevand og yderside af varmtvandsbeholder ved driftssituation 1a. Farveskalaen angiver varmeflux i $[\text{W/m}^2]$. En negativ varmeflux angiver at varmen overføres fra rumvarmevand til varmtvandsbeholdervæg.

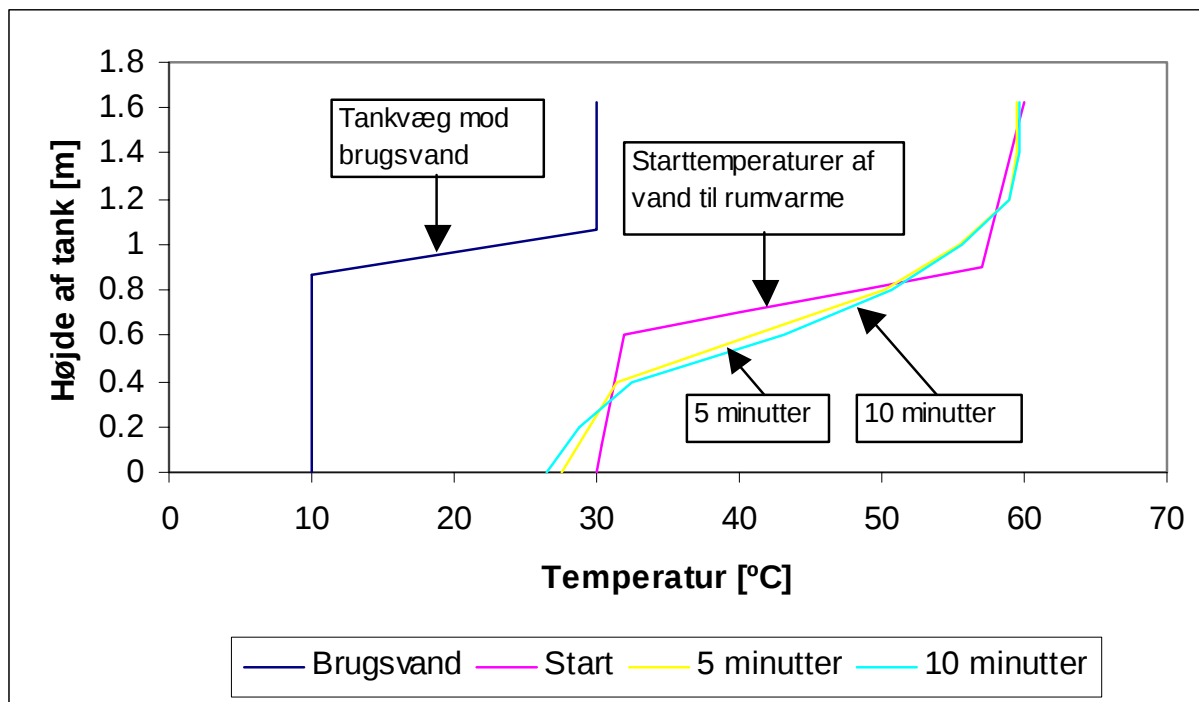


Figur 18: Den beregnede varmeoverføringskoefficient for ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen ved driftssituation 1a som funktion af højden. Varmeoverføringskoefficienten er beregnet ved hjælp af ligning (2).

3.2 Driftssituation 1b

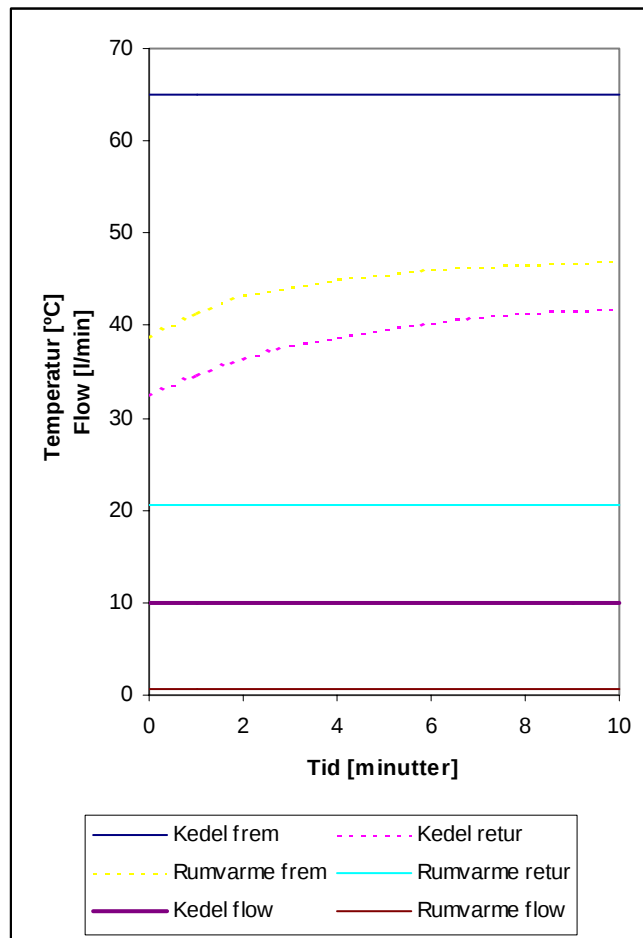
Ved driftssituation 1b benyttes starttemperaturerne angivet i Figur 5. Kedlen er i drift med et flow på 10 l/min og en fremløbstemperatur til rumvarmetanken på 65°C. Rumvarmekredsen er i drift med et flow på 0,7 l/min og en returtemperatur til rumvarmetanken på 20,5°C.

Figur 19 viser temperaturlagdelingen i rumvarmetanken ved simuleringens start, efter 5 minutter og efter 10 minutter. Det ses af Figur 19, at den største del af energitilførslen fra kedelkredsen går til at varme den mellemste del af rumvarmevandet op. Samtidig sker den største ændring fra start til det 5. minut, mens der ikke er den store ændring fra det 5. minut til det 10. minut. Endvidere ses det, at temperaturen i toppen af rumvarmetanken ikke bliver højere end 60°C på trods af at indløbstemperaturen fra kedelkredsen er 65°C. Samtidig ses det, at rumvarmekredsen, der er i drift i modsætning til driftssituation 1a, ikke har den store indflydelse på temperaturlagdelingen.



Figur 19: Beregnede temperaturer i rumvarmetanken ved start, efter 5 minutter og efter 10 minutter ved driftssituation 1b.

Figur 20 viser de beregnede temperaturer for ind- og udløb af henholdsvis kedel- og rumvarmekreds samt flowet i henholdsvis kedel- og rumvarmekreds. Både temperaturer og flow vises som funktion af tiden. Det ses, at indløbstemperaturen fra kedelkreds til rumvarmetank samt flow i kedelkreds er konstant på henholdsvis 65°C og 10 l/min , og at indløbstemperaturen fra rumvarmekredsen til rumvarmetank samt flow i rumvarmekredsen også er konstant med værdier på henholdsvis $20,5^{\circ}\text{C}$ og $0,7\text{ l/min}$. Udløbstemperaturen fra rumvarmetank til kedelkreds stiger fra 32°C til 42°C , og dette er et lille fald i forhold til driftssituation 1a, hvilket skyldes at rumvarmekredsen nu er i drift. Udløbstemperaturen fra rumvarmetank til rumvarmekreds stiger fra 39° til 47°C . Den tilførte effekt fra kedelkredsen til rumvarmetanken falder i løbet af de 10 minutters drift fra 22 kW til 16 kW , mens den bortførte effekt til rumvarmekredsen stiger fra $0,9\text{ kW}$ til $1,3\text{ kW}$. Det vil sige, at rumvarmekredsen ikke har så stor betydning ved denne driftssituation, da den bortførte effekt er mere end en faktor 10 mindre end den tilførte effekt fra kedelkredsen. Det er forklaringen på, hvorfor der ikke er så stor forskel på resultaterne i driftssituation 1a og driftssituation 1b.



Figur 20: Ind- og udløbstemperaturer fra henholdsvis kedelkreds og rumvarmekreds samt flow i henholdsvis kedelkreds og rumvarmekreds som funktion af tiden for driftssituation 1b. Den tilførte effekt fra kedelkredsen er efter 10 minutters drift 16 kW, mens den bortførte effekt til rumvarmekredsen er 1,3 kW.

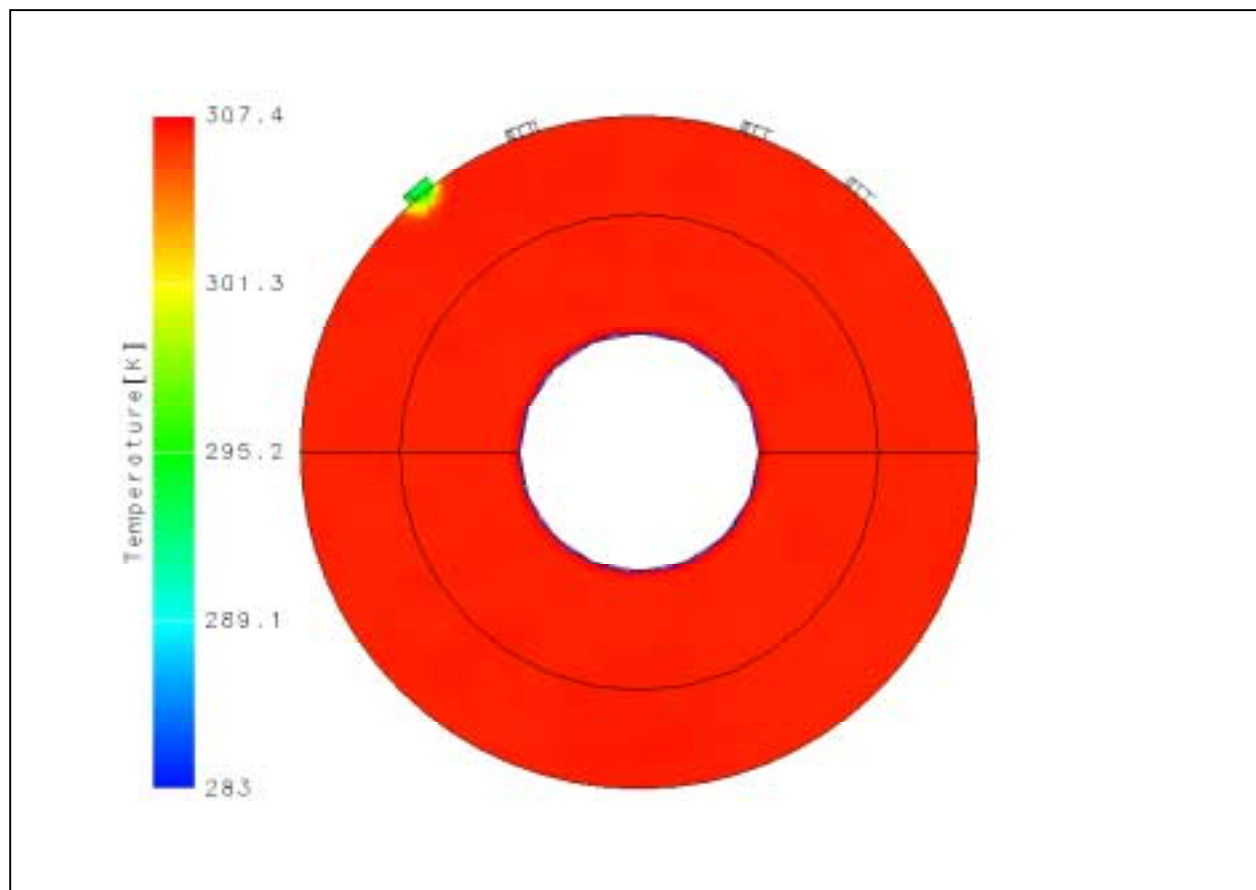
3.2.1 Temperatur- og strømningsforhold omkring indløb og udløb

Ved driftssituation 1b er der ikke nogen forskel i temperaturen omkring indløb fra kedelkreds og strømningsforhold omkring ind- og udløb for kedelkredsen i forhold til driftssituation 1a, så disse forhold vises ikke i stedet henvises til Figur 9-Figur 16.

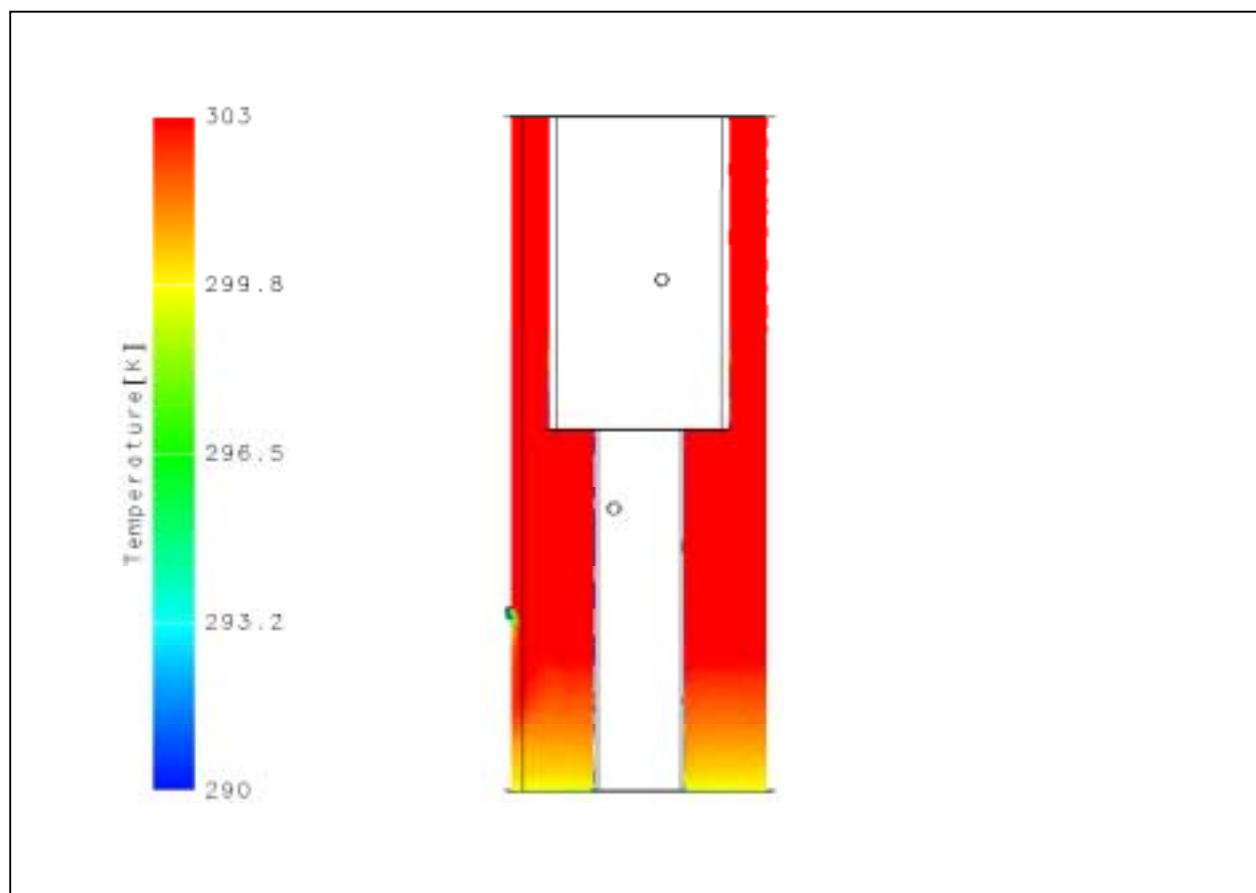
Figur 21 og Figur 22 viser temperaturen af rumvarmevandet ved henholdsvis et vandret og et lodret snit gennem indløbet fra rumvarmekredsen (0,43 m fra bunden af tanken). Det ses af Figur 21, at temperaturen af rumvarmevandet kun påvirkes tæt på indløbet af det kolde vand, der kommer retur fra rumvarmekredsen. Af Figur 22 kan det ses, at idet flowet i rumvarmekredsen ikke er særlig stort, så strømmer det kolde indløbsvand fra rumvarmekredsen hurtigt nedad i rumvarmetanken på grund af temperaturforskellene. Indløbstemperaturen af vandet fra rumvarmekredsen er 20,5°C, mens temperaturen af vandet i rumvarmetanken i niveau med indløbet er 34°C.

Figur 23 og Figur 24 viser strømningerne ved henholdsvis et vandret og et lodret snit gennem indløbet fra rumvarmekredsen. Størrelsen af vektorerne i Figur 23 og Figur 24 fortæller ikke noget om hastigheden, men kun noget om retningen. Det ses af både Figur 23 og Figur 24, at det indkommende vand hurtigt strømmer nedad i beholderen, ligesom det blev indikeret af Figur 21 og

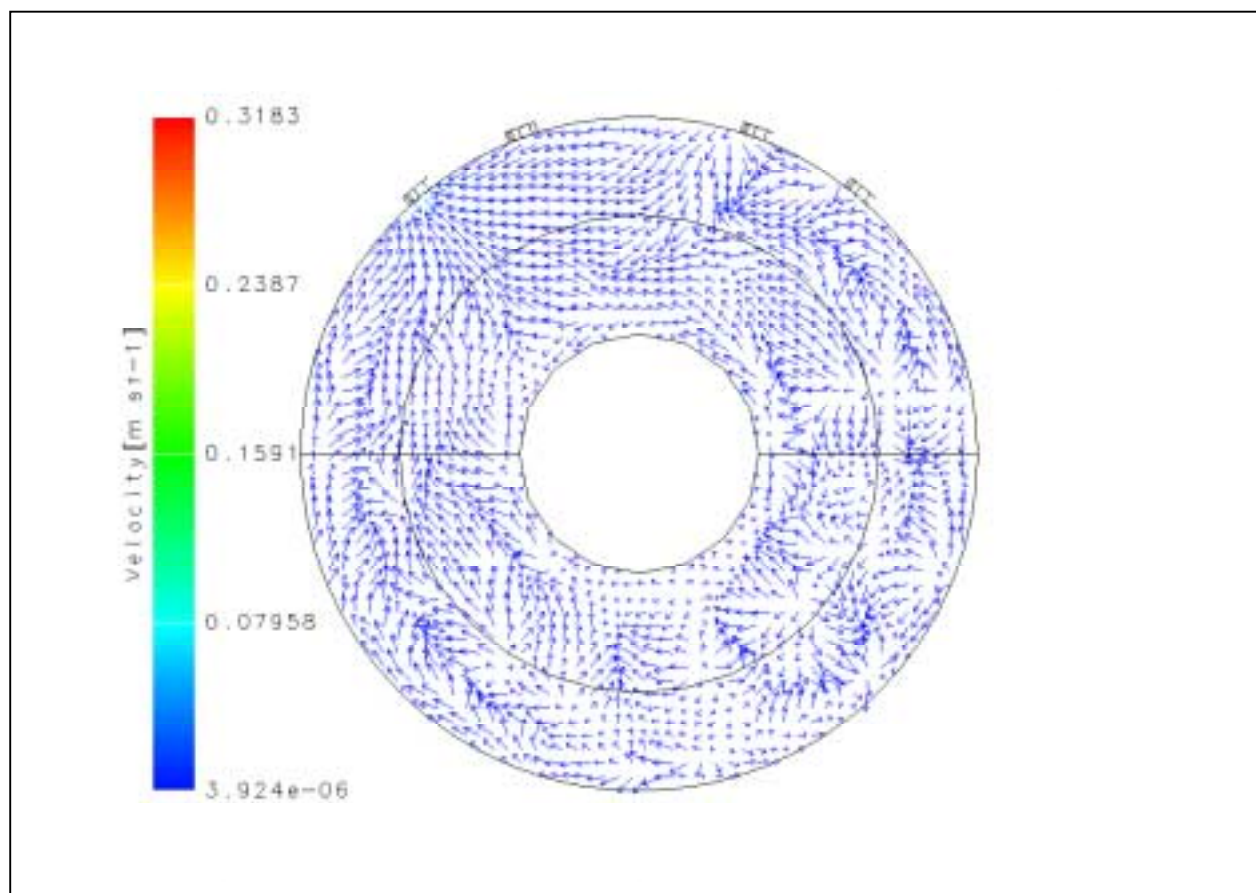
Figur 22. Det kan konkluderes at ved denne driftssituation giver indløbet til rumvarmetanken fra rumvarmekredsen ikke anledning til omrøring i rumvarmetanken.



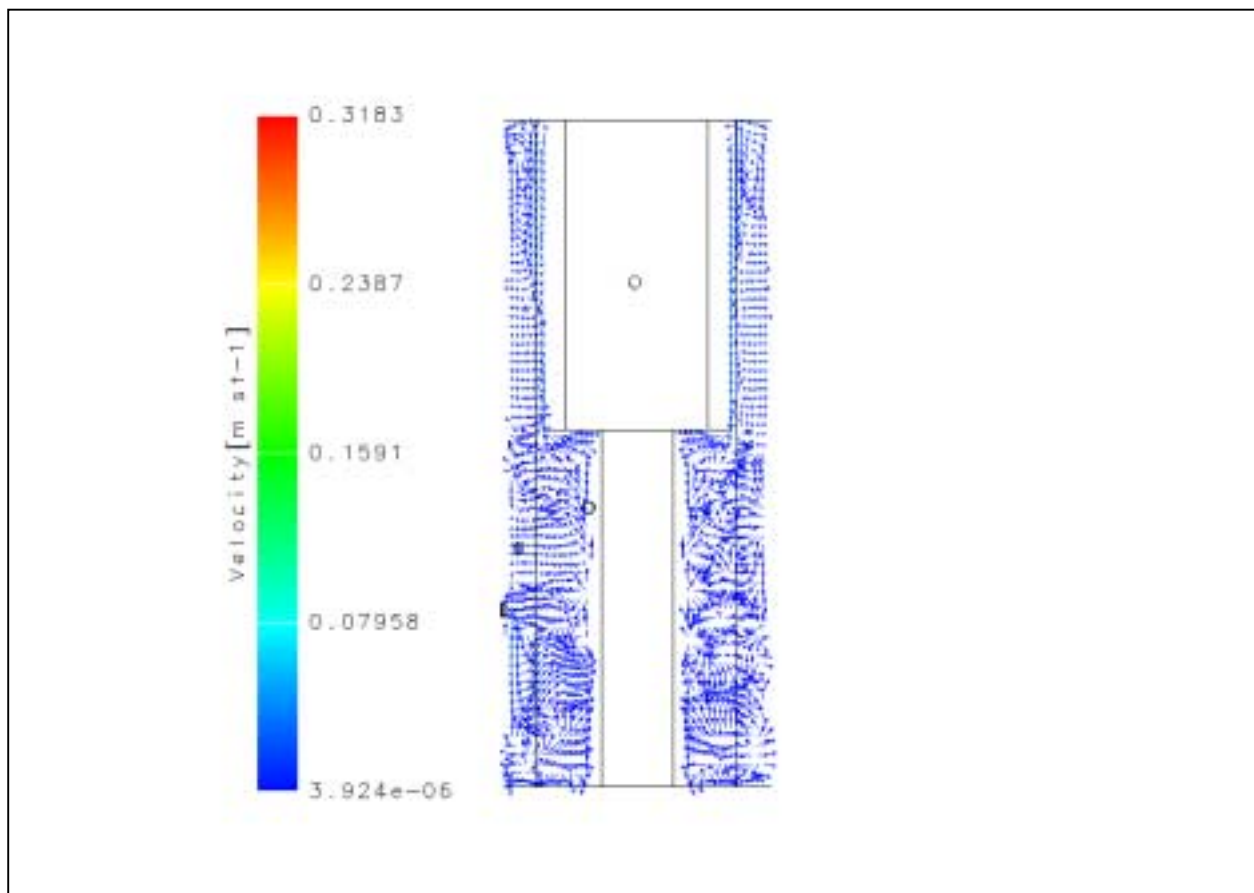
Figur 21: Beregnede temperaturer af rumvarmevandet ved et vandret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen (efter 10 minutter opvarmning). Farveskalaen angiver temperaturerne i [K].



Figur 22: Beregnede temperaturer af rumvarmevandet ved et lodret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen (efter 10 minutter opvarmning). Farveskalaen angiver temperaturerne i [K].

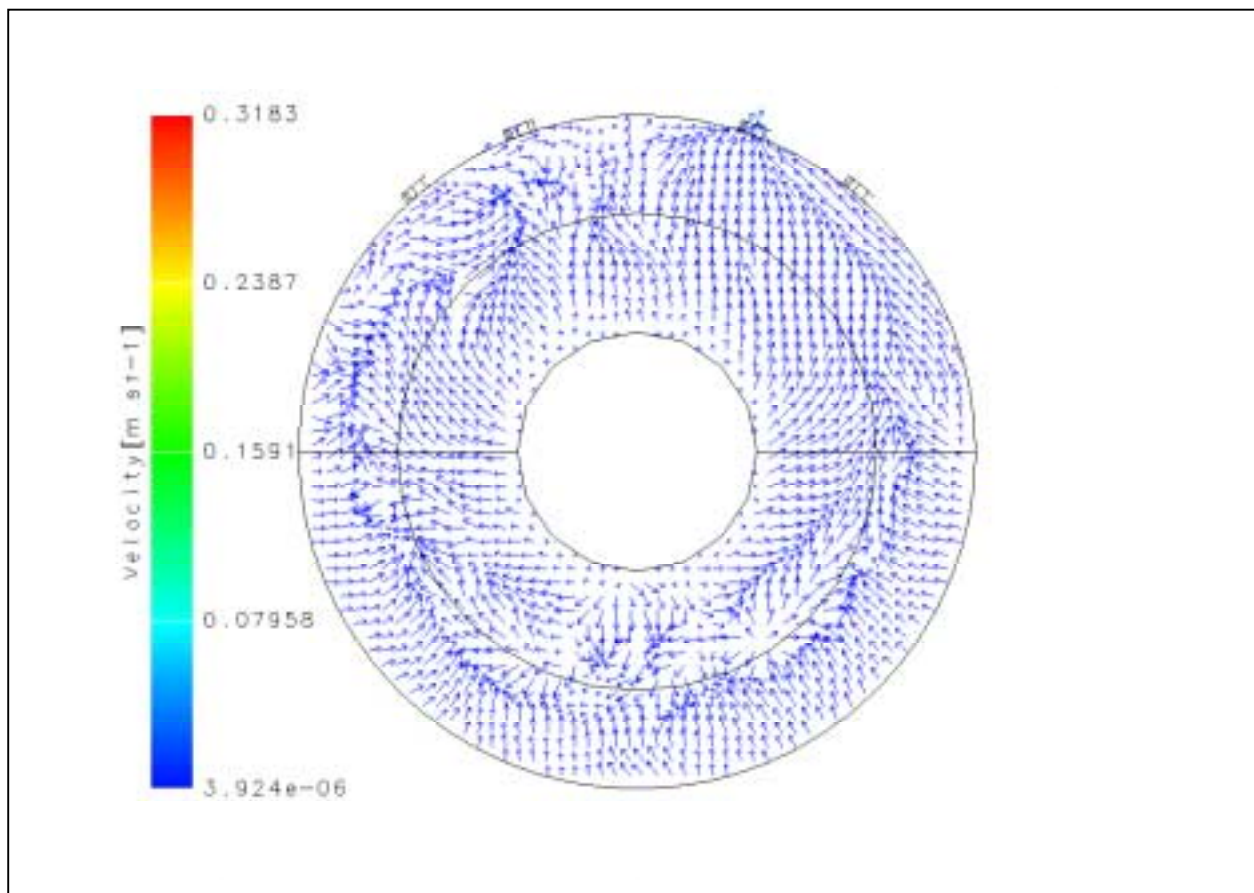


Figur 23: Vektorer, der viser strømmingen i et vandret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen. Størrelsen af vektorerne viser ikke noget om strømmingens størrelse, men viser kun strømmingens retning. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].



Figur 24: Vektorer, der viser strømmingen i et lodret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen. Størrelsen af vektorerne viser ikke noget om strømmingens størrelse, men viser kun strømmingens retning. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].

Figur 25 viser strømmingerne ved et vandret snit gennem udløbet fra rumvarmetanken til rumvarmekredsen (0,68 m fra bunden af tanken). Størrelsen af vektorerne i Figur 25 fortæller ikke noget om hastigheden, men kun noget om retningen. Det ses, at en stor del af bevægelserne i vandet er rettet over mod udløbet til rumvarmekredsen. Der er dog lidt forstyrrelser til venstre for indløbet, og det skyldes højst sandsynligt, at strømmingerne bliver påvirket af udløbet til kedelkredsen. Udløbet til kedelkredsen befinder sig 10 cm under og 20° til venstre for udløbet til rumvarmekredsen, og flowet i kedelkredsen er ved denne driftssituation ca. 14 gange større end flowet i rumvarmekredsen.

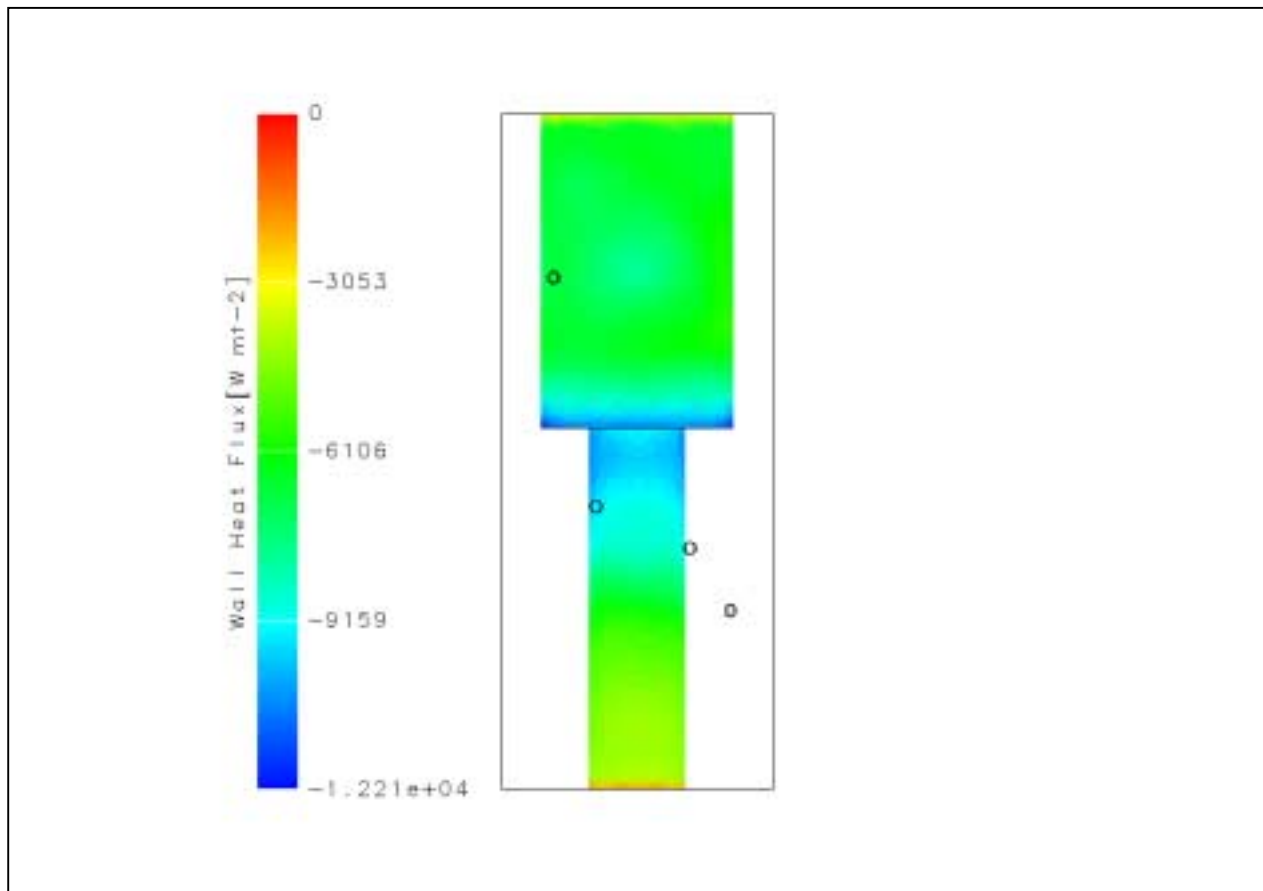


Figur 25: Vektorer, der viser strømmingen i et vandret snit udfor udløbet til rumvarmekredsen. Størrelsen af vektorerne viser ikke noget om strømmingens størrelse, men viser kun strømmingens retning. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].

3.2.2 Varmetransport ved varmtvandsbeholder

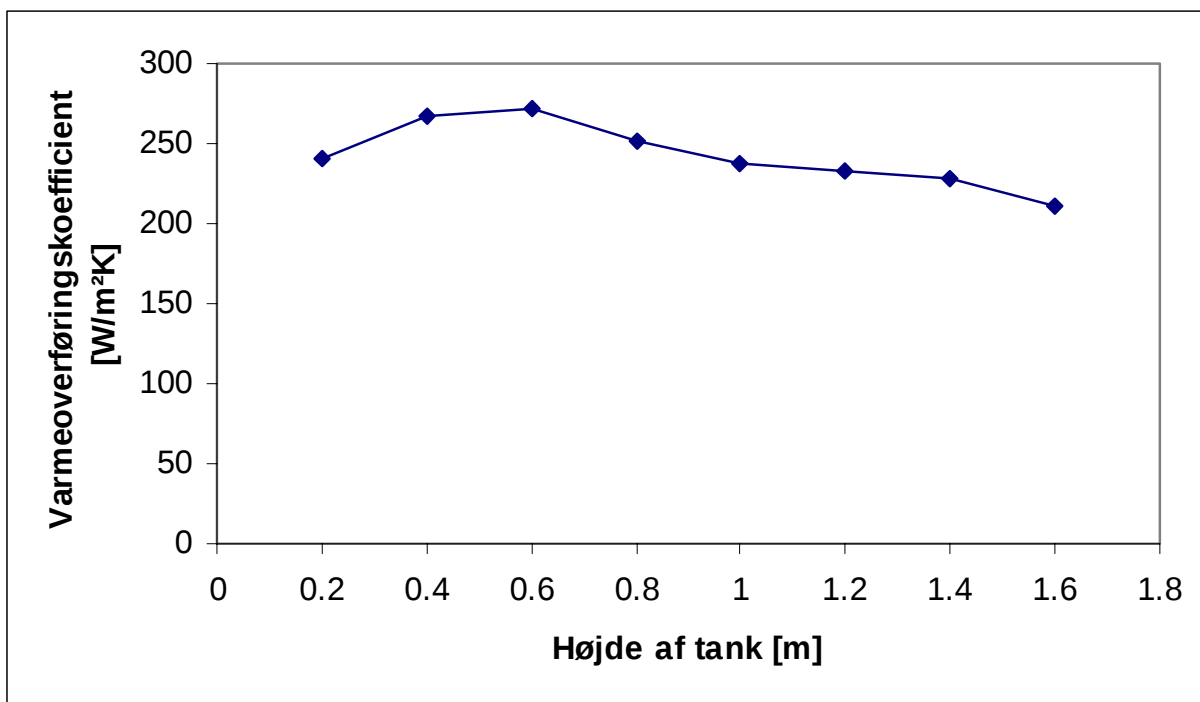
CFD-programmet beregner varmetransporten mellem vand i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvandet, mens varmeoverføringskoefficienten mellem vand i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvand (dvs. ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen) beregnes ved ligning (2).

Figur 26 viser den beregnede varmefflux mellem vandet i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvandet. En negativ varmefflux på Figur 26 betyder, at varmen overføres fra rumvarmevand til tankvæg mod brugsvand. Det ses, at varmeffluxen er størst på den midterste del af tankvæggen, hvilket vil sige lige over udløbet til kedelkredsen. Der er to årsager til dette, den ene er, at det er i dette niveau der er størst temperaturforskel mellem rumvarmevand og tankvæg mod brugsvand. Den anden årsag er, at der er en god nedadrettet strømning tæt på tankvæggen mod brugsvandet, da vandet strømmer ned mod udløbet til kedelkredsen. Den samlede overførte effekt for brugsvandsvarmeveksleren er ved denne driftssituation $7,1 \text{ kW/m}^2$ svarende til 13 kW.



Figur 26: Den beregnede varmeflux mellem rumvarmevand og yderside af varmtvandsbeholder ved driftssituation 1b. Farveskalaen angiver varmeflux i $[W/m^2]$. En negativ varmeflux angiver at varmen overføres fra rumvarmevand til varmtvandsbeholdervæg.

Figur 27 viser den beregnede varmeoverføringskoefficient fra vandet i rumvarmetanken til varmtvandsbeholdervæggen som funktion af højden. Varmeoverføringskoefficienten varierer mellem $210 W/m^2 \cdot K$ og $270 W/m^2 \cdot K$. Den gennemsnitlige varmeoverføringskoefficient er ved denne driftssituation beregnet til $243 W/m^2 \cdot K$ og totalt overføres der $447 W/K$.

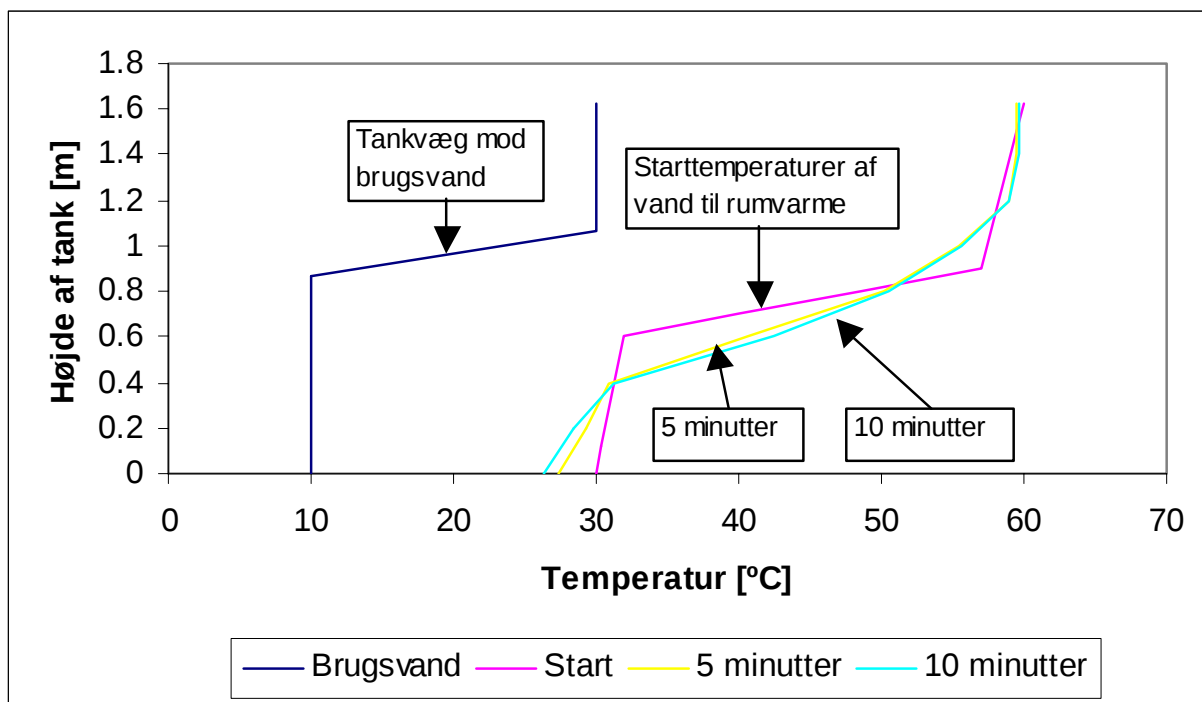


Figur 27: Den beregnede varmeoverføringskoefficient for ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen ved driftssituation 1b som funktion af højden. Varmeoverføringskoefficienten er beregnet hjælp af ligning (2).

3.3 Driftssituation 1c

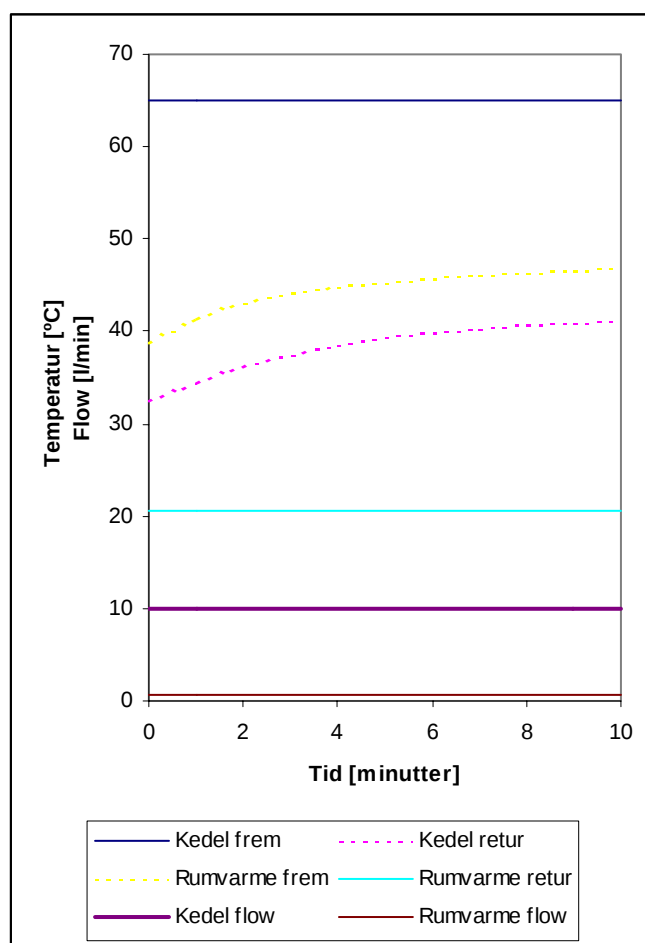
Ved driftssituation 1c benyttes starttemperaturerne angivet i Figur 5. Kedlen er i drift med et flow på 10 l/min og en fremløbstemperatur på 65°C. Rumvarmekredsen er i drift med et flow på 1,4 l/min og en returtemperatur til rumvarmetanken på 20,5°C.

Figur 28 viser temperaturlagdelingen i rumvarmetanken ved simuleringens start, efter 5 minutter og efter 10 minutter. Det ses af Figur 28, at den største del af energitilførslen fra kedelkredsen går til at varme den mellemste del af rumvarmevandet op. Samtidig sker den største ændring fra start til det 5. minut, mens der ikke er den store ændring fra det 5. minut til det 10. minut. Endvidere ses det, at temperaturen i toppen af rumvarmetanken ikke bliver højere end 60°C på trods af at indløbstemperaturen fra kedelkredsen er 65°C. Samtidig ses det, at rumvarmekredsen, der er i drift i modsætning til driftssituation 1a, ikke har den store indflydelse på temperaturlagdelingen. Ændringen af flowet fra 0,7 l/min ved driftssituation 1b til 1,4 l/min har ikke ændret væsentligt ved temperaturprofilet i rumvarmetanken.



Figur 28: Beregnede temperaturer i rumvarmetanken ved start, efter 5 minutter og efter 10 minutter ved driftssituation 1c.

Figur 29 viser de beregnede temperaturer for ind- og udløb af henholdsvis kedel- og rumvarmekreds samt flowet i henholdsvis kedel- og rumvarmekreds. Både temperaturer og flow vises som funktion af tiden. Det ses, at indløbstemperaturen fra kedelkreds til rumvarmetank samt flow i kedelkreds er konstant på henholdsvis 65°C og 10 l/min, og at indløbstemperaturen fra rumvarmekredsen til rumvarmetank samt flow i rumvarmekredsen også er konstant med værdier på henholdsvis 20,5°C og 1,4 l/min. Udløbstemperaturen fra rumvarmetank til kedelkreds stiger fra 32°C til 41°C, og dette er et lille fald i forhold til driftssituation 1a, hvilket skyldes at rumvarmekredsen nu er i drift. Udløbstemperaturen fra rumvarmetank til rumvarmekreds stiger fra 39° til 47°C. Den tilførte effekt fra kedelkredsen til rumvarmetanken falder i løbet af de 10 minutters drift fra 22 kW til 17 kW, mens den bortførte effekt til rumvarmekredsen stiger fra 1,7 kW til 2,5 kW. Det vil sige, at rumvarmekredsen ikke har så stor betydning ved denne driftssituation, da den bortførte effekt er ca. en faktor 7 mindre end den tilførte effekt fra kedelkredsen. Det er forklaringen på, hvorfor der ikke er så stor forskel på resultaterne i driftssituation 1a og driftssituation 1c.



Figur 29: Ind- og udløbstemperaturer fra henholdsvis kedelkreds og rumvarmekreds samt flow i henholdsvis kedelkreds og rumvarmekreds som funktion af tiden for driftssituation 1c. Den tilførte effekt fra kedelkredsen er efter 10 minutters drift 17 kW, mens den bortførte effekt til rumvarmekredsen er 2,5 kW.

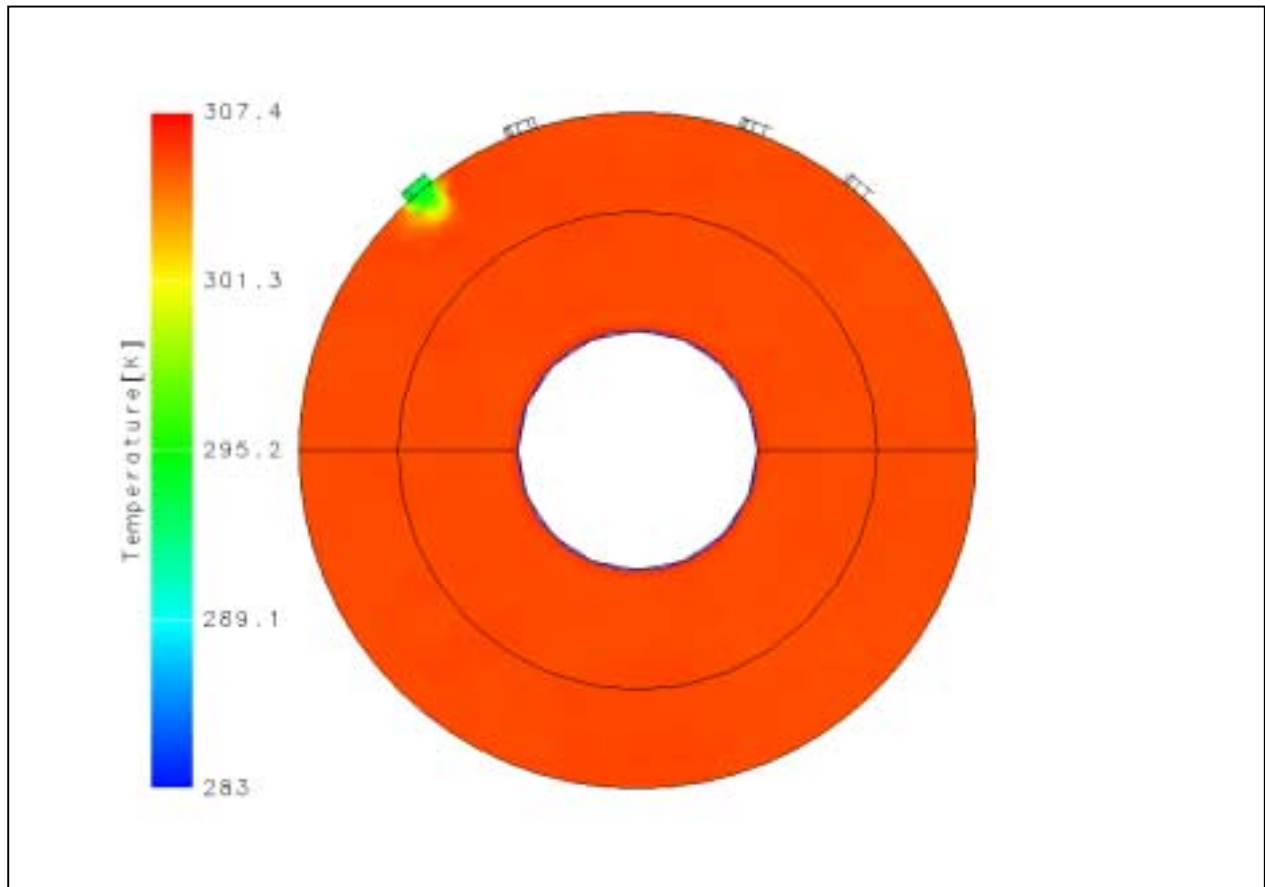
3.3.1 Temperatur- og strømningsforhold omkring indløb og udløb

Ved driftssituation 1c er der ikke nogen forskel i temperaturen omkring indløb fra kedelkreds og strømningsforhold omkring ind- og udløb for kedelkredsen i forhold til driftssituation 1a og driftssituation 1b, så disse forhold vises ikke, i stedet henvises til Figur 9 - Figur 16.

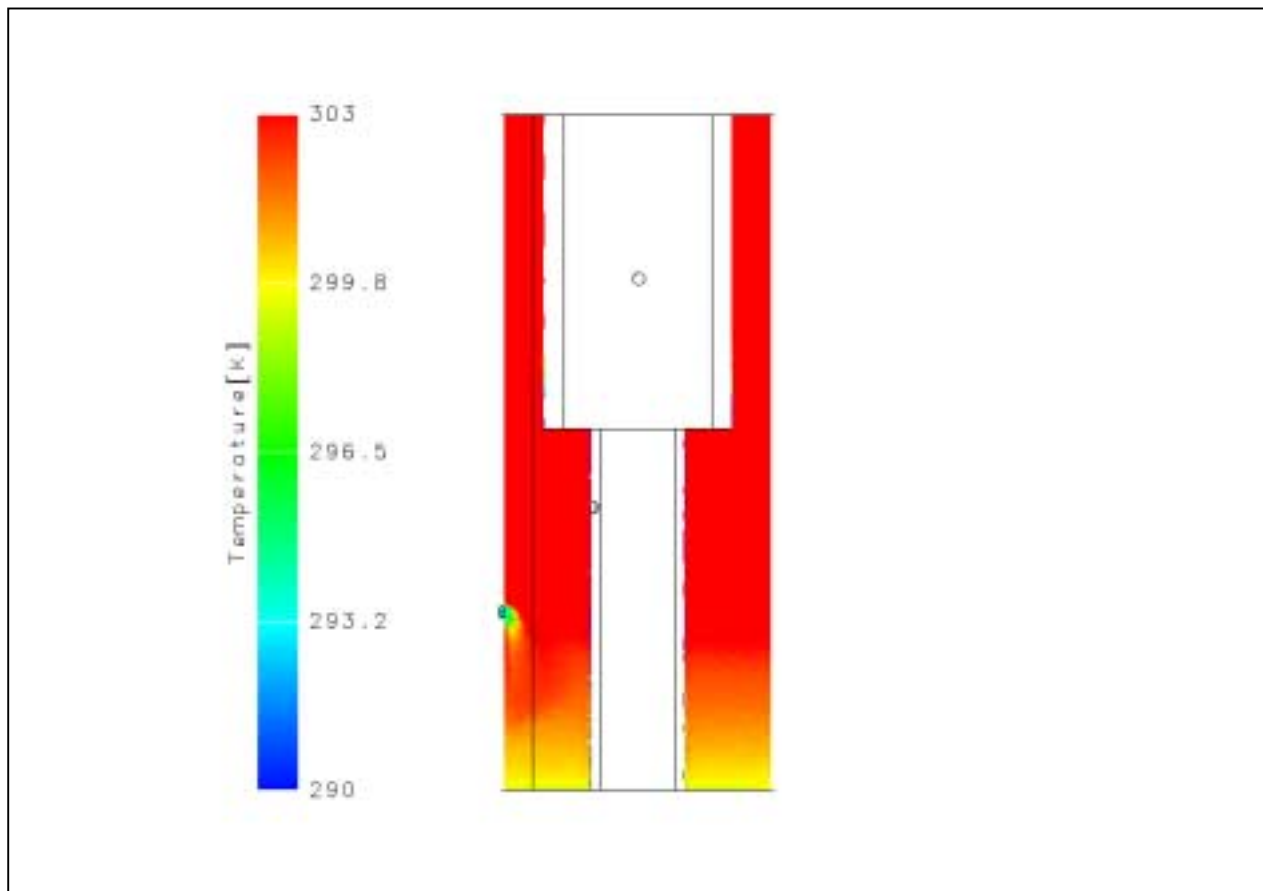
Figur 30 og Figur 31 viser temperaturen af rumvarmevandet ved henholdsvis et vandret og et lodret snit gennem indløbet fra rumvarmekredsen. Den samme tendens som ved driftssituation 1b gør sig gældende idet temperaturen i rumvarmevandet kun påvirkes tæt på indløbet inden det indstrømmende vand søger nedad i rumvarmetanken på grund af temperaturforskellen. Sammenlignes Figur 30 og Figur 31 med Figur 21 og Figur 22 ses det, at det større flow i rumvarmekredsen i driftssituation 1c gør, at indløbsstrømmen påvirker temperaturen lidt længere væk fra indløbet end ved driftssituation 1b. Den vægtede temperatur af rumvarmevandet i niveauet som er vist i Figur 30 er 33°C ved driftssituation 1c, mens den er 34°C ved driftssituation 1b.

Figur 32 og Figur 33 viser strømningerne ved henholdsvis et vandret og et lodret snit gennem indløbet fra rumvarmekredsen. Størrelsen af vektorerne i Figur 32 og Figur 33 fortæller ikke noget

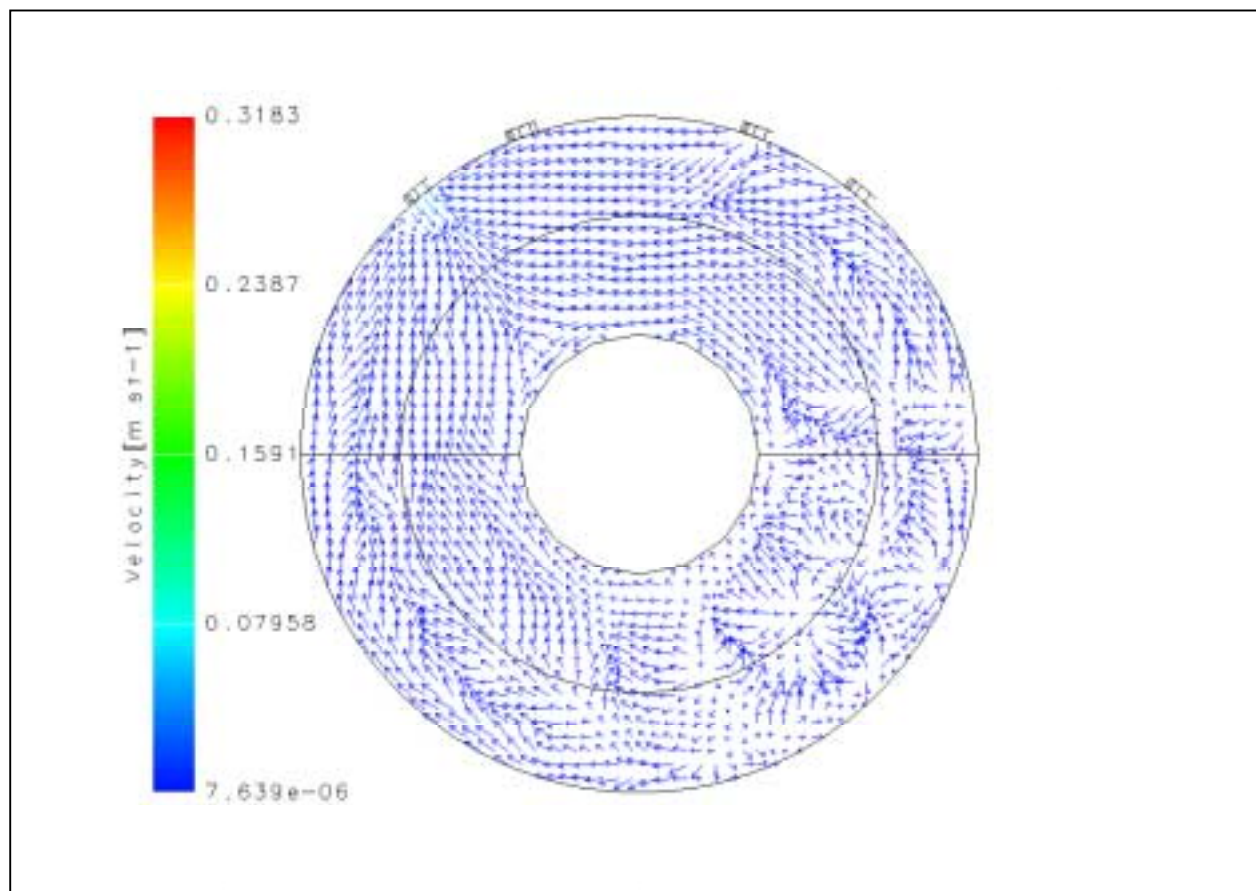
om hastigheden, men kun noget om retningen. Det ses af både Figur 32 og Figur 33, at det indkommende vand hurtigt strømmer nedad i beholderen, samt at det kommer lidt længere ind i rumvarmetanken end ved driftssituation 1b før det strømmer nedad. Det kan konkluderes at ved denne driftssituation giver indløbet til rumvarmetanken fra rumvarmekredsen kun anledning til minimal omrøring i rumvarmetanken.



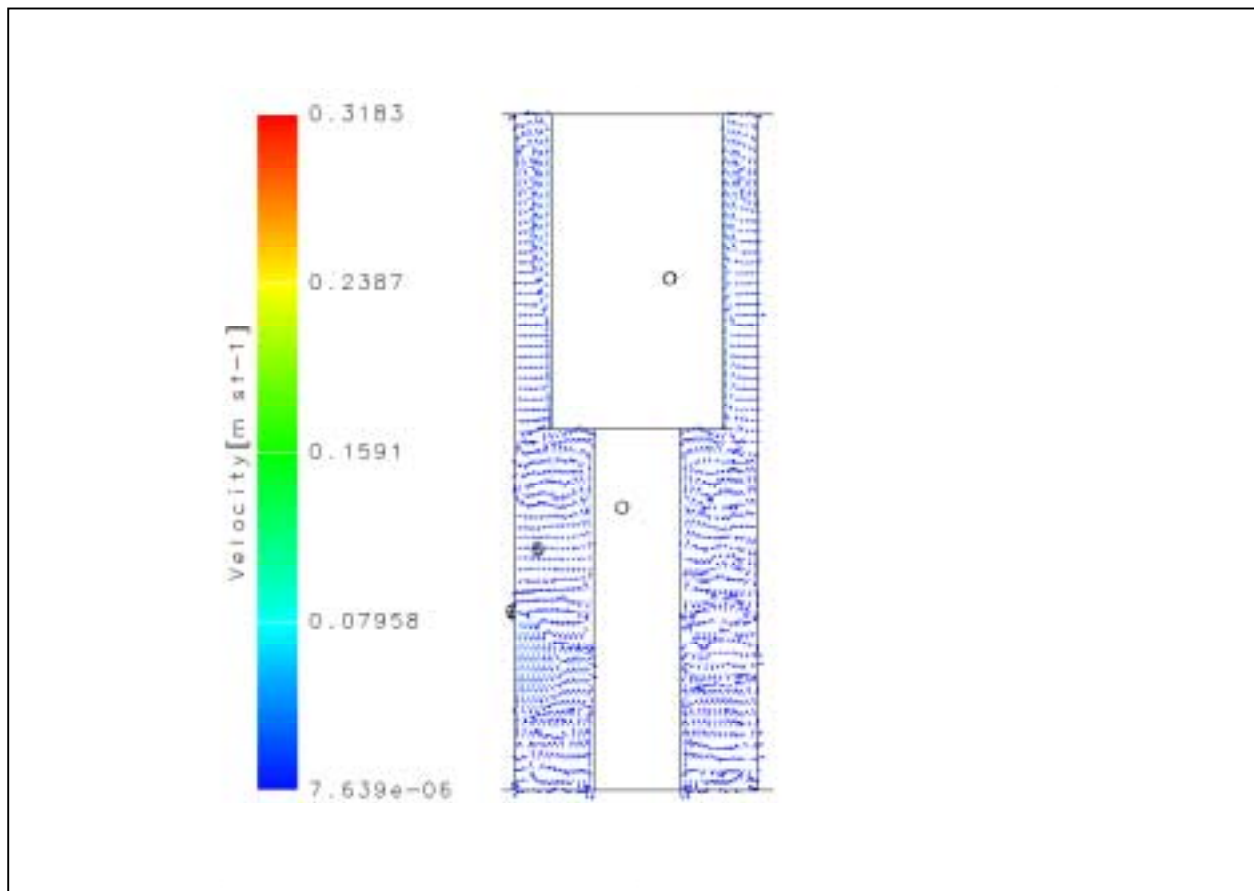
Figur 30: Beregnede temperaturer af rumvarmevandet ved et vandret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen (efter 10 minutter opvarmning). Farveskalaen angiver temperaturerne i [K].



Figur 31: Beregnede temperaturer af rumvarmevandet ved et lodret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen (efter 10 minutter opvarmning). Farveskalaen angiver temperaturerne i [K].



Figur 32: Vektorer, der viser strømmingen i et vandret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen. Størrelsen af vektorerne viser ikke noget om strømmingens størrelse, men viser kun strømmingens retning. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].

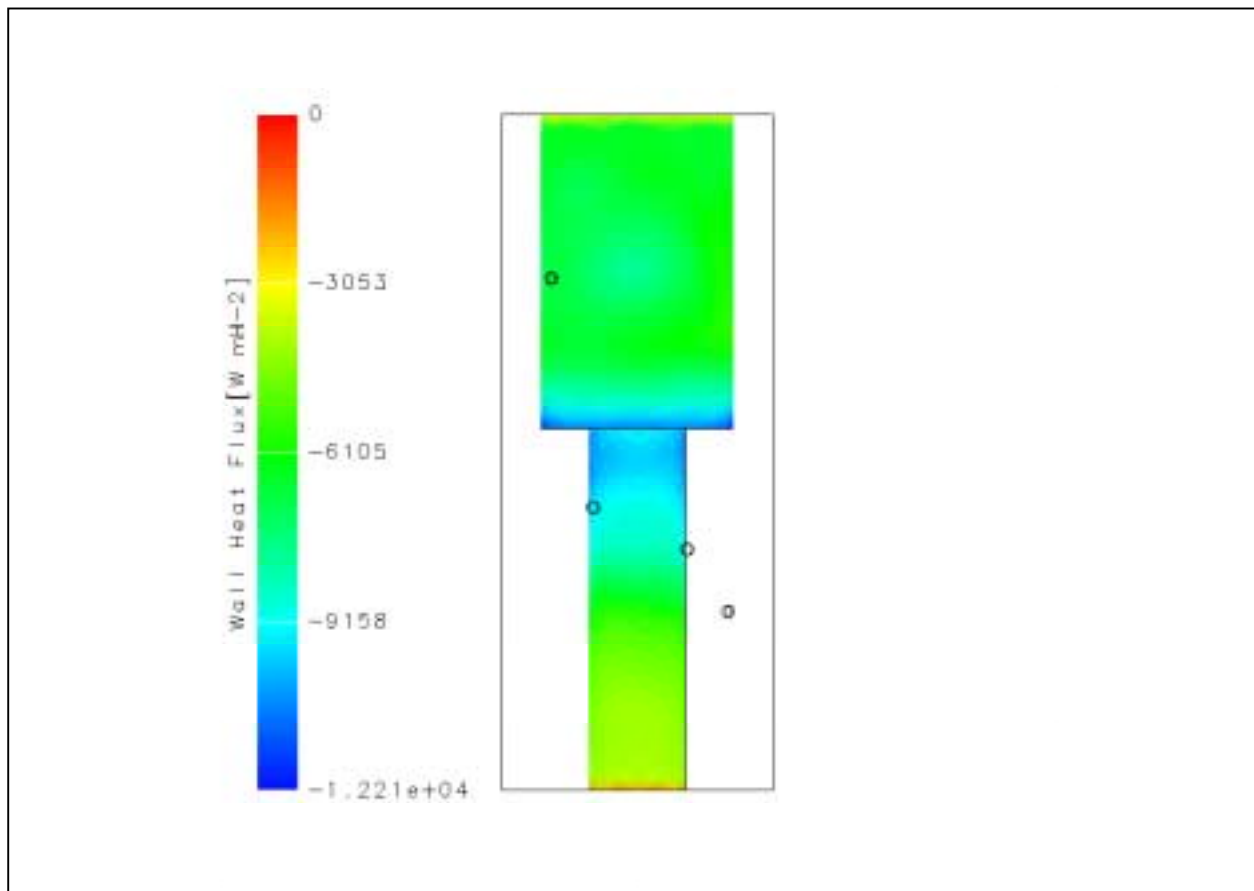


Figur 33: Vektorer, der viser strømmingen i et lodret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen. Størrelsen af vektorerne viser ikke noget om strømmingens størrelse, men viser kun strømmingens retning. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].

3.3.2 Varmetransport ved varmtvandsbeholder

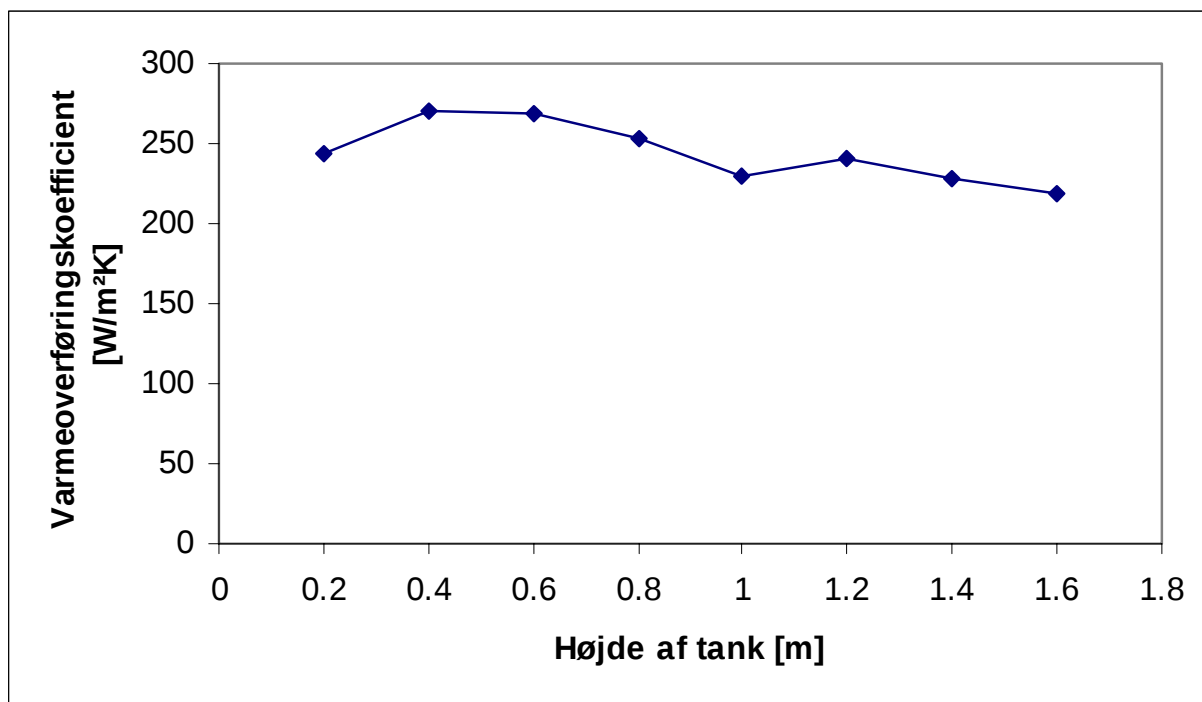
CFD-programmet beregner varmetransporten mellem vand i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvandet, mens varmeoverføringskoefficienten mellem vand i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvand (dvs. ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen) beregnes ved ligning (2).

Figur 34 viser den beregnede varmefflux mellem vandet i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvandet. En negativ varmefflux på Figur 34 betyder, at varmen overføres fra rumvarmevand til tankvæg mod brugsvand. Det ses, at varmeffluxen er størst på den midterste del af tankvæggen, hvilket vil sige lige over udløbet til kedelkredsen. Der er to årsager til dette, den ene er, at det er i dette niveau der er størst temperaturforskel mellem rumvarmevand og tankvæg mod brugsvand. Den anden årsag er, at der er en god nedadrettet strømning tæt på tankvæggen mod brugsvandet, da vandet strømmer ned mod udløbet til kedelkredsen. Den samlede overførte effekt for brugsvandsvarmeveksleren er ved denne driftssituation $7,1 \text{ kW/m}^2$ svarende til 13 kW.



Figur 34: Den beregnede varmefflux mellem rumvarmevand og yderside af varmtvandsbeholder ved driftssituation 1c. Farveskalaen angiver varmefflux i $[\text{W}/\text{m}^2]$. En negativ varmefflux angiver at varmen overføres fra rumvarmevand til varmtvandsbeholdervæg.

Figur 35 viser den beregnede varmeoverføringskoefficient fra vandet i rumvarmetanken til varmtvandsbeholdervæggen som funktion af højden. Varmeoverføringskoefficienten varierer mellem $219 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ og $270 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$. Den gennemsnitlige varmeoverføringskoefficient er ved denne driftssituation beregnet til $244 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ og totalt overføres der $449 \text{ W}/\text{K}$.

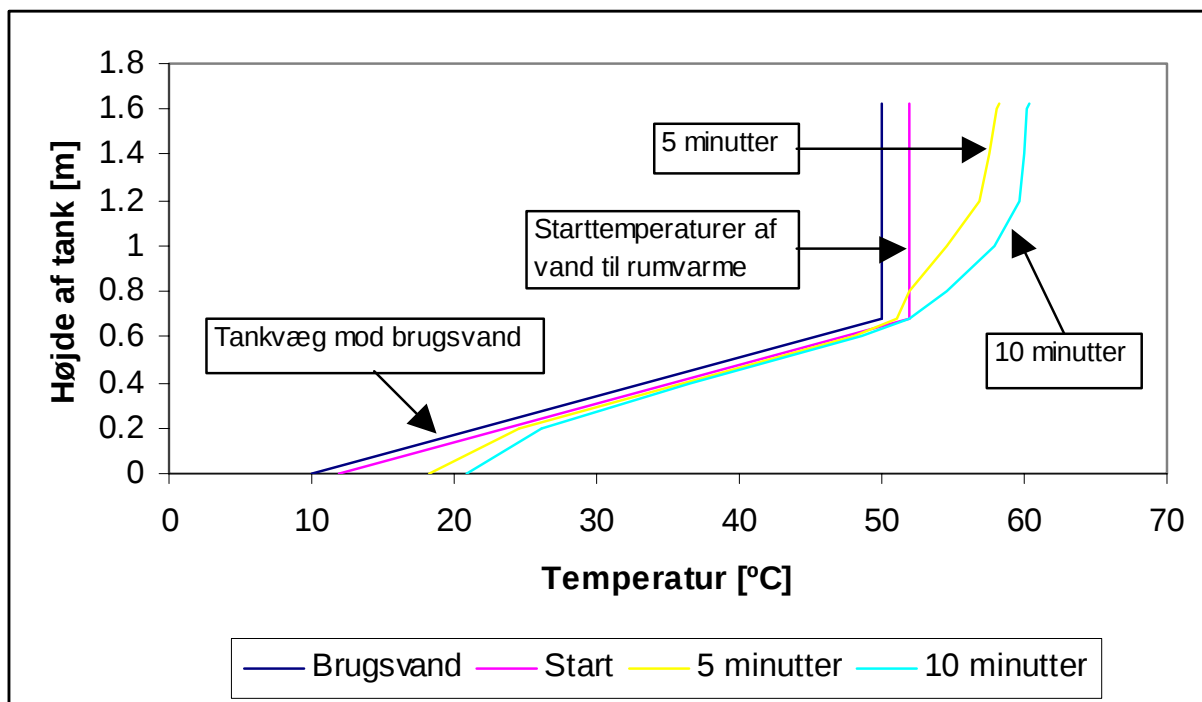


Figur 35: Den beregnede varmeoverføringskoefficient for ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen ved driftssituation 1c som funktion af højden. Varmeoverføringskoefficienten er beregnet hjælp af ligning (2).

3.4 Driftssituation 2a

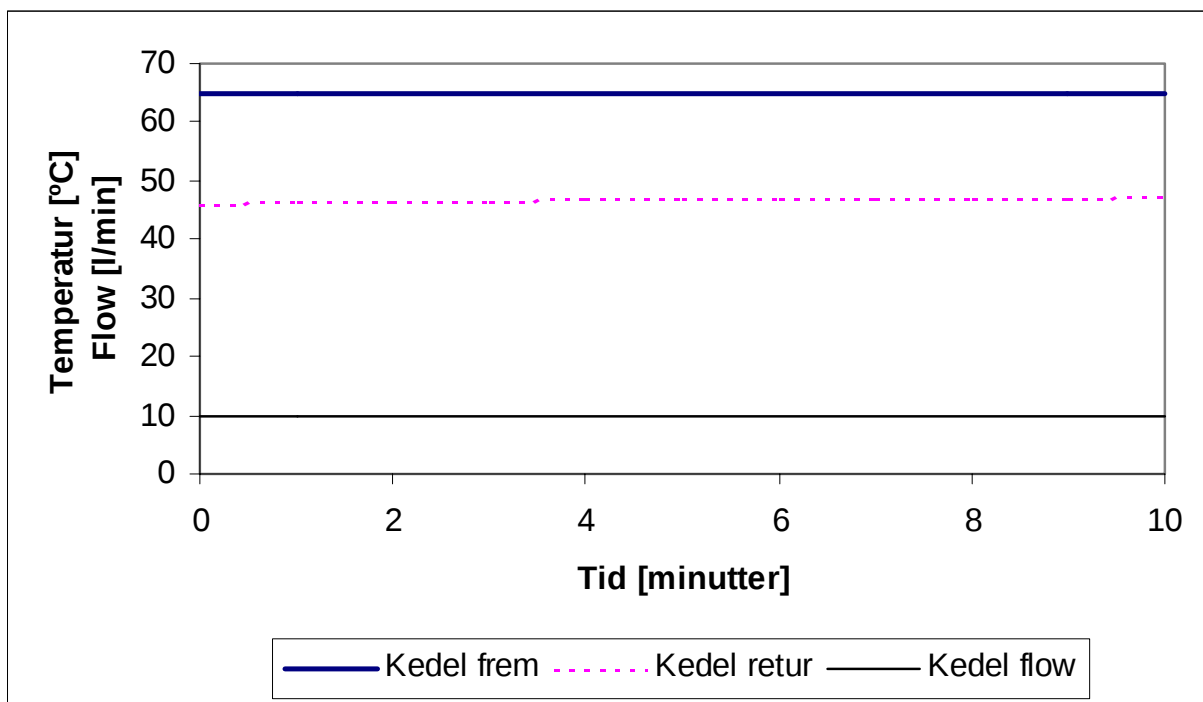
Ved driftssituation 2a benyttes starttemperaturerne angivet i Figur 6. Kedlen er i drift med et flow på 10 l/min og en fremløbstemperatur på 65°C. Rumvarmekredsen er ikke i drift.

Figur 36 viser temperaturlagdelingen i rumvarmetanken ved simuleringens start, efter 5 minutter og efter 10 minutter. Det ses af Figur 36, at den største del af energitilførslen fra kedelkredsen går til at varme den øverste del af rumvarmevandet op. Temperaturen i toppen når dog ikke på de 10 minutter at komme over 60°C. Ændringerne fra start til det 5. minut er nogenlunde ligeså store som ændringerne fra det 5. minut til det 10. minut. Disse observationer er lidt anderledes end observationerne ved driftssituation 1a. Det skyldes primært, at der ved driftssituation 2a ikke er særlig stor forskel mellem starttemperaturerne for henholdsvis tankvæg mod brugsvand og for rumvarmevandet.



Figur 36: Beregnede temperaturer i rumvarmetanken ved start, efter 5 minutter og efter 10 minutter ved driftssituation 2a.

Figur 37 viser de beregnede temperaturer for indløb og udløb af kedelkredsen og flowet i kedelkredsen som funktion af tiden. Det ses at indløbstemperaturen fra kedelkreds til rumvarmetank samt flow i kedelkredsen er konstant på henholdsvis 65°C og 10 l/min. Udløbstemperaturen fra rumvarmetank til kedelkreds er også næsten konstant, den stiger fra 46°C til 47°C. Den tilførte effekt fra kedelkredsen ved driftssituation 2a går til at opvarme rumvarmevandet i toppen af rumvarmetanken, og det er årsagen til at udløbstemperaturen til kedelkredsen ikke stiger så meget som ved driftssituation 1a. Den tilførte effekt fra kedelkredsen til rumvarmetanken falder i løbet af de 10 minutters drift fra 13 kW til 12 kW.

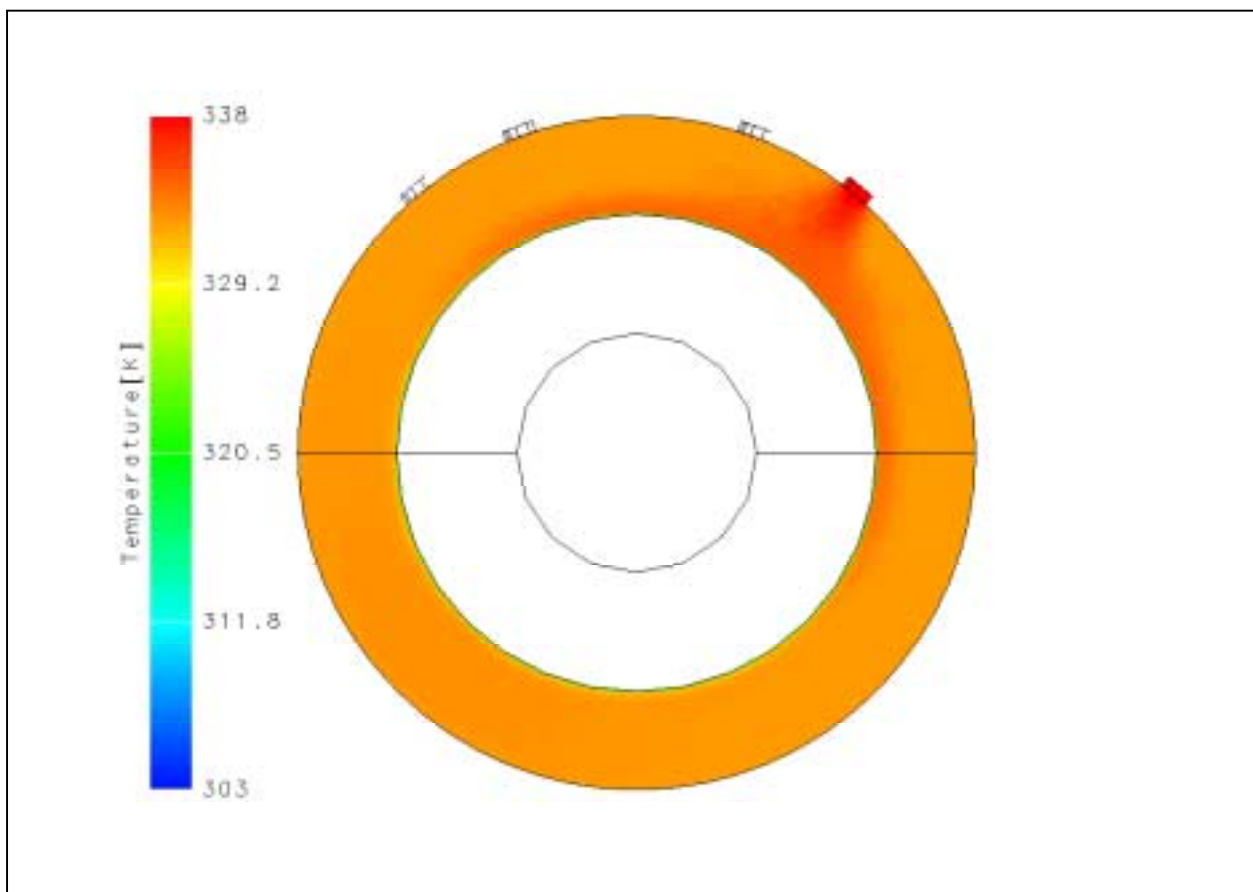


Figur 37: Ind- og udløbstemperatur fra kedelkredsen samt flow i kedelkredsen som funktion af tiden for driftssituation 2a. Den tilførte effekt fra kedelkredsen er efter 10 minutters drift 12 kW.

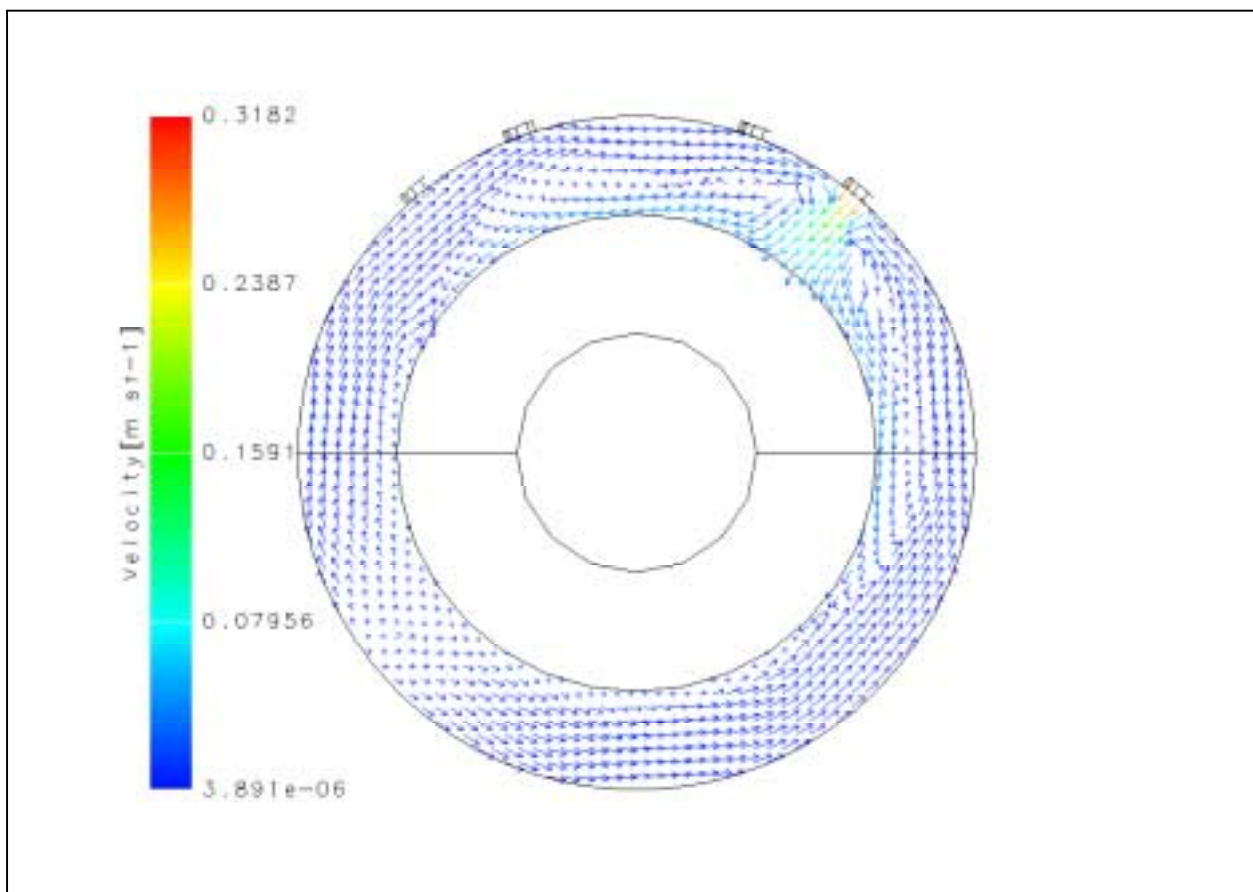
3.4.1 Temperatur- og strømningsforhold omkring indløb og udløb

Figur 38 viser temperaturen af rumvarmevandet i et vandret snit i niveau med indløbet fra kedelkredsen. Figur 39 viser strømningerne i et vandret snit udfor indløbet fra kedelkredsen, og vektorernes størrelse i Figur 39 har ingen sammenhæng med strømningens størrelse, de angiver kun strømningens retning. I driftssituation 1a var temperaturen af indløbsvandet fra kedelkredsen ca. 5 K højere end temperaturen af vandet i rumvarmetanken i niveau med indløbet, mens temperaturen af indløbsvandet fra kedelkredsen ved driftssituation 2a er ca. 15 K højere end temperaturen af vandet i rumvarmetanken i niveau med indløbet. Hvis Figur 38 og Figur 39 sammenlignes med Figur 9 og Figur 11 ses det, at denne ændring fra driftssituation 1a til 2a ikke ændrer ved strømningsmønstret udfor indløbet. Figur 40 viser strømningerne i et lodret snit udfor indløbet fra kedelkredsen. Hvis Figur 40 sammenlignes med Figur 12 ses det, at strømningsmønstret i toppen af rumvarmetanken ændres en smule. Ved driftssituation 2a er recirkulationen i samme side som indløbet fra kedelkredsen rykket lidt længere mod toppen, mens det i siden modsat indløbet er som om strømningen rundt om varmtvandsbeholderen er presset lidt ned.

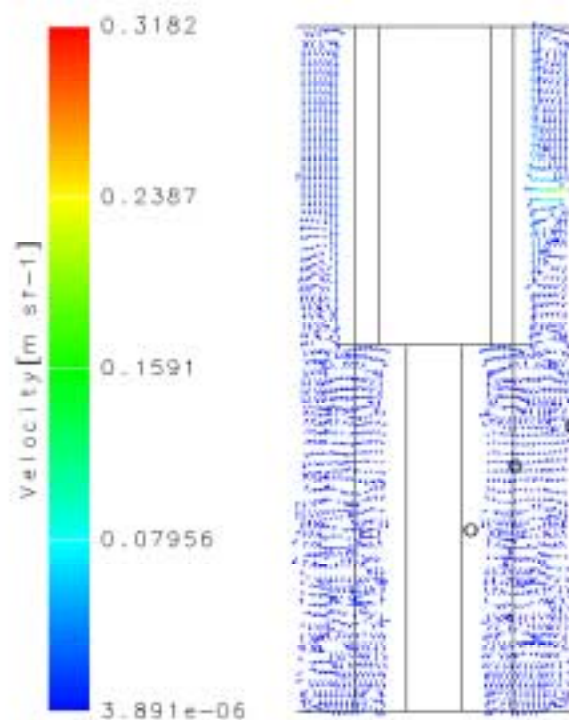
Figur 41 viser strømningerne i et vandret snit udfor udløbet til kedelkredsen, og vektorernes størrelse i Figur 41 har ingen sammenhæng med strømningens størrelse, de angiver kun strømningens retning. Det ses, at ved denne driftssituation er strømningsmønstret i dette niveau nærmest identisk med strømningsmønstret i samme niveau ved driftssituation 1a.



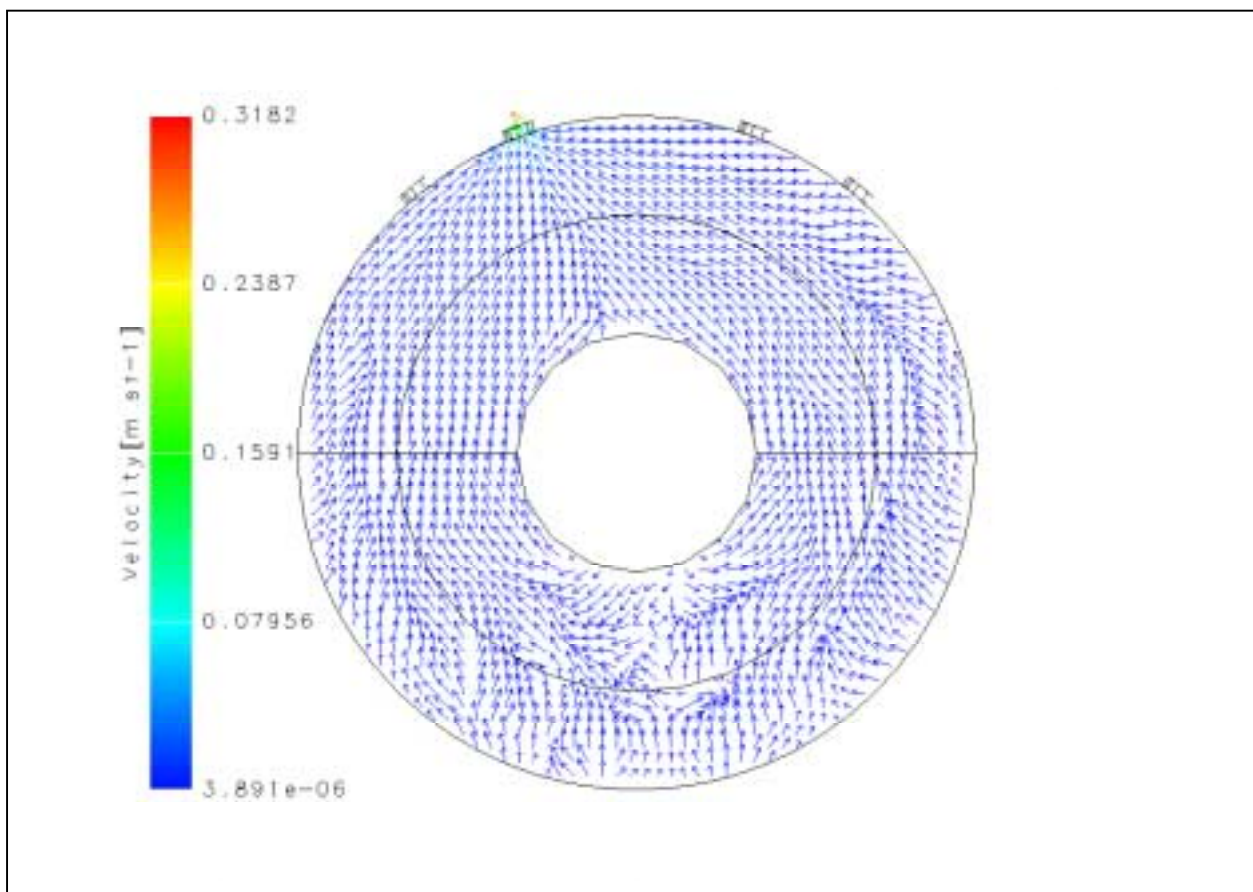
Figur 38: Beregnede temperaturer af rumvarmevandet ved et vandret snit udfor indløbet fra kedelkredsen (efter 10 minutters opvarmning). Farveskalaen angiver temperaturerne i [K].



Figur 39: Vektorer, der viser strømmingen i et vandret snit udfor indløbet fra kedelkredsen. Størrelsen af vektorerne viser ikke noget om strømmingens størrelse, men viser kun strømmingens retning. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].



Figur 40: Vektorer, der viser strømmingen i et lodret snit udfor indløbet fra kedelkredsen. Størrelsen af vektorerne viser ikke noget om strømmingens størrelse, men viser kun strømmingens retning. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].

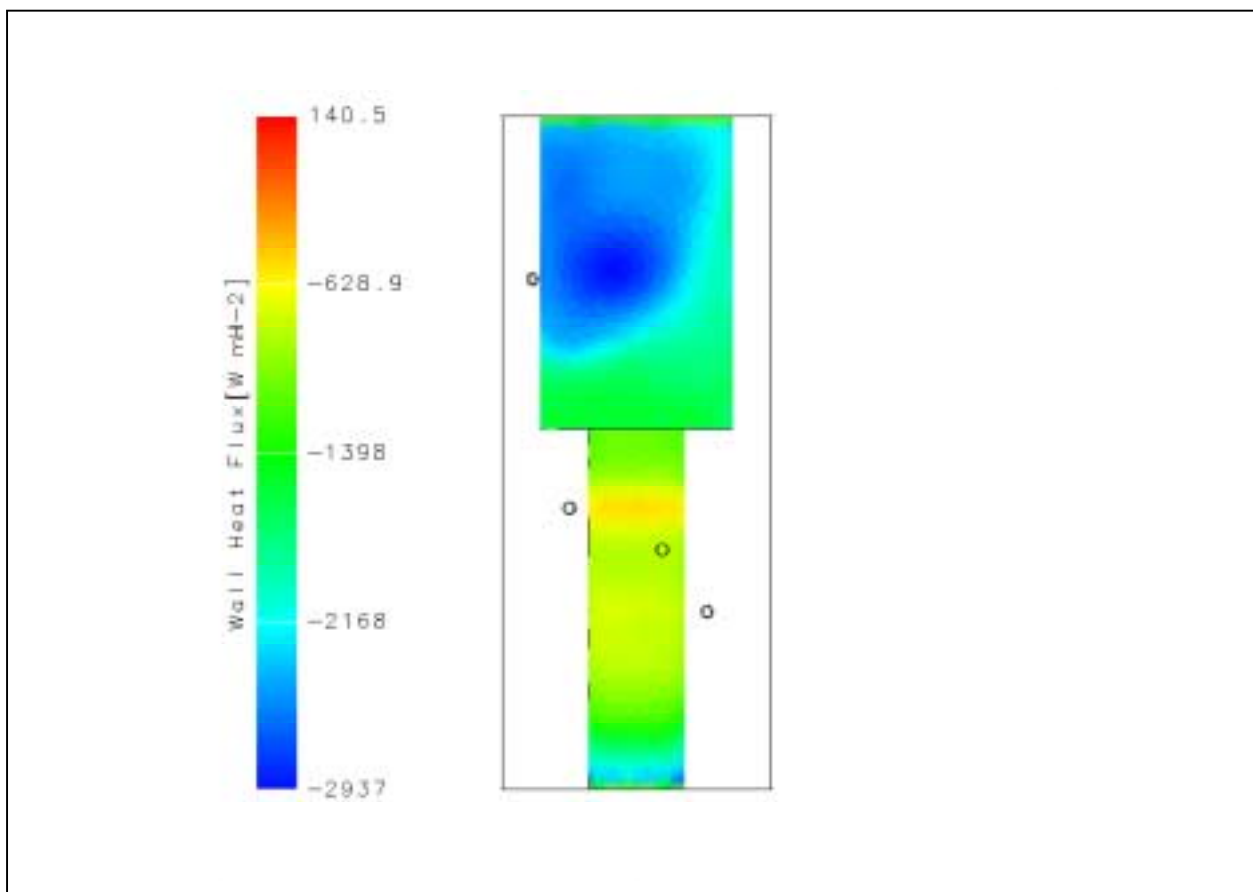


Figur 41: Vektorer, der viser strømmingen i et vandret snit udfor udløbet til kedelkredsen. Størrelsen af vektorerne viser ikke noget om hastighedens størrelse, men viser kun strømmingens retning. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].

3.4.2 Varmetransport ved varmtvandsbeholder

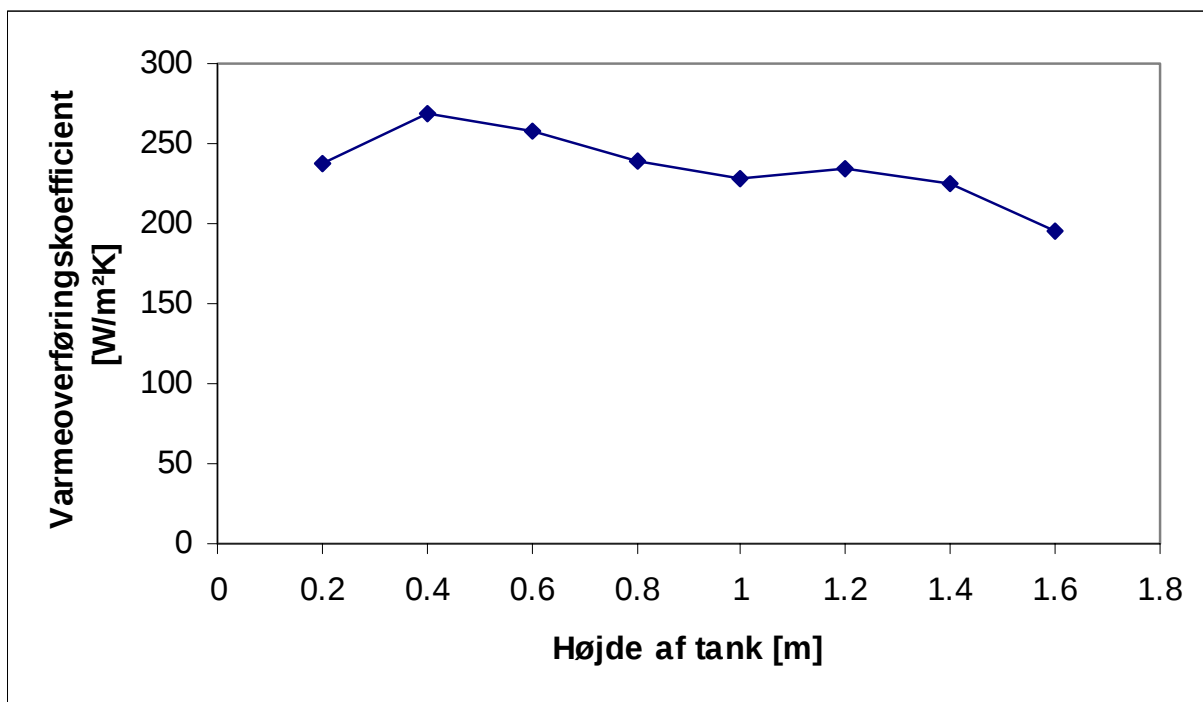
CFD-programmet beregner varmetransporten mellem vand i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvandet, mens varmeoverføringskoefficienten mellem vand i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvand (dvs. ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen) beregnes ved ligning (2).

Figur 42 viser den beregnede varmefflux mellem vandet i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvandet. En negativ varmefflux på Figur 42 betyder, at varmen overføres fra rumvarmevand til tankvæg mod brugsvand. Det ses, at varmeffluxen er størst på den øverste del af tankvæggen udfor indløbet fra kedelkredsen. Dette er ikke overraskende, da indløbsstrømmen ved denne driftssituation er dominerende for varmeovergangen mellem rumvarmevand og yderside af varmtvandsbeholder i modsætning til driftssituation 1a, hvor det var den store temperaturforskel mellem rumvarmevand og yderside af varmtvandsbeholder, der var dominerende. Den samlede overførte effekt fra rumvarmetanken til varmtvandsbeholderen er ved denne driftssituation 1,7 kW/m² svarende til 3,1 kW.



Figur 42: Den beregnede varmekraft mellem rumvarmevand og yderside af varmtvandsbeholder ved driftssituation 2a. Farveskalaen angiver varmekraft i $[\text{W}/\text{m}^2]$. En negativ varmekraft angiver at varmen overføres fra rumvarmevand til varmtvandsbeholdervæg.

Figur 43 viser den beregnede varmeoverføringskoefficient fra vandet i rumvarmetanken til varmtvandsbeholdervæggen som funktion af højden. Varmeoverføringskoefficienten varierer mellem $200 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ og $270 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$. Den gennemsnitlige varmeoverføringskoefficient er ved denne driftssituation beregnet til $236 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ og totalt overføres der $434 \text{ W}/\text{K}$.

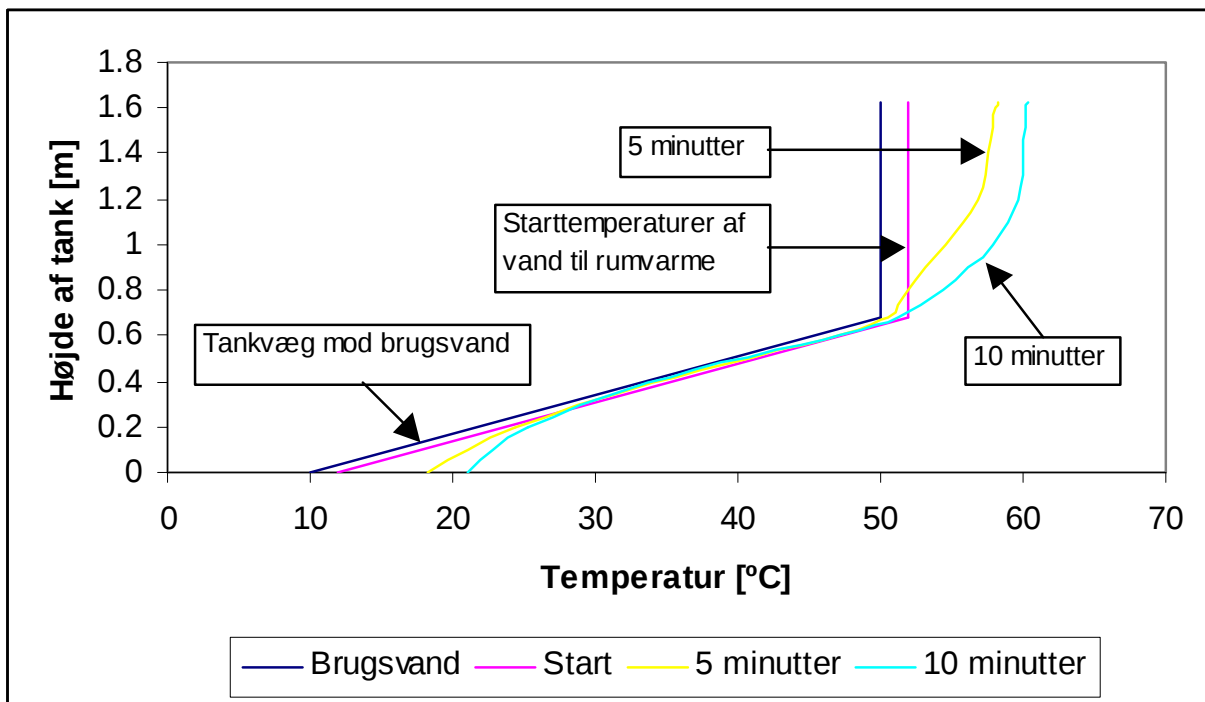


Figur 43: Den beregnede varmeoverføringskoefficient for ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen ved driftssituation 2a som funktion af højden. Varmeoverføringskoefficienten er beregnet hjælp af ligning (2).

3.5 Driftssituation 2b

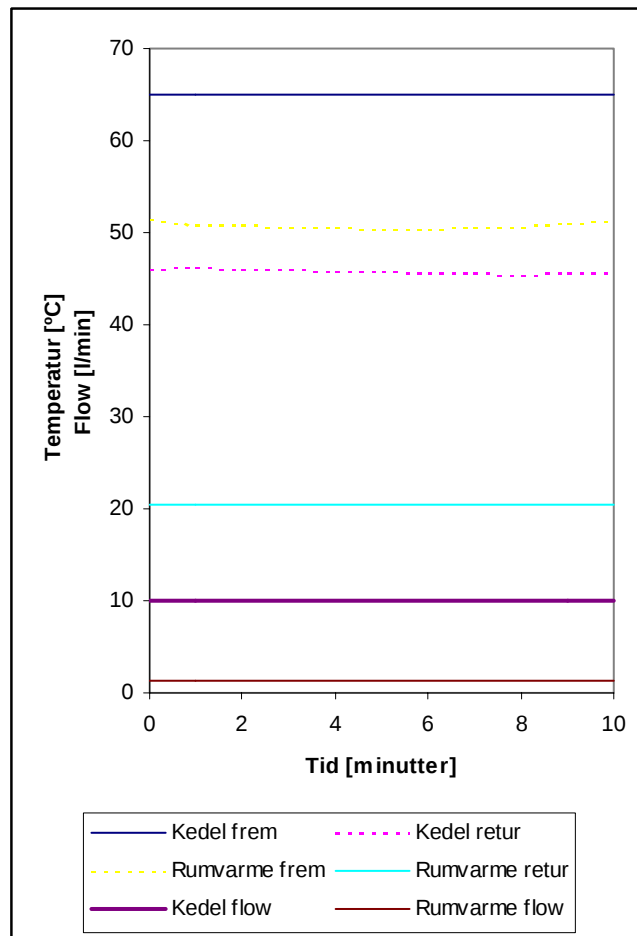
Ved driftssituation 2b benyttes starttemperaturerne angivet i Figur 6. Kedlen er i drift med et flow på 10 l/min og en fremløbstemperatur på 65°C. Rumvarmekredsen er i drift med et flow på 1,4 l/min og en returtemperatur til rumvarmetanken på 20,5°C.

Figur 44 viser temperaturlagdelingen i rumvarmetanken ved simuleringens start, efter 5 minutter og efter 10 minutter. Det ses af Figur 44 at den største del af energitilførslen fra kedelkredsen går til at varme den øverste del af rumvarmevandet op. Temperaturen i toppen når dog ikke på de 10 minutter at komme over 60°C. Samtidig ses det, at rumvarmekredsen, der er i drift i modsætning til driftssituation 2a, kun har minimal betydning for temperaturen i niveauet omkring indløbet fra rumvarmekredsen. Forskellen mellem temperaturen af vandet i rumvarmetanken udfor indløbet fra rumvarmekredsen (0,43 m fra bunden af beholderen) ved henholdsvis driftssituation 2a og 2b er ca. 3 K.



Figur 44: Beregnede temperaturer i rumvarmetanken ved start, efter 5 minutter og efter 10 minutter ved driftssituation 2b.

Figur 45 viser de beregnede temperaturer for ind- og udløb af henholdsvis kedel- og rumvarmekreds samt flowet i henholdsvis kedel- og rumvarmekreds. Både temperaturer og flow er vist som funktion af tiden. Det ses, at indløbstemperaturen fra kedelkreds til rumvarmetank samt flow i kedelkreds er konstant på henholdsvis 65°C og 10 l/min, og at indløbstemperaturen fra rumvarmekredsen til rumvarmetank samt flow i rumvarmekredsen også er konstant med værdier på henholdsvis 20,5°C og 1,4 l/min. Udløbstemperaturen fra rumvarmetank til kedelkreds er nogenlunde konstant omkring 46°C. Udløbstemperaturen fra rumvarmetank til rumvarmekreds er nogenlunde konstant omkring 51°C. Efter 10 minutters drift er den tilførte effekt fra kedelkredsen til rumvarmetanken på 13 kW, mens den bortførte effekt til rumvarmekredsen er på 3 kW.



Figur 45: Ind- og udløbstemperaturer fra henholdsvis kedelkreds og rumvarmekreds samt flow i henholdsvis kedelkreds og rumvarmekreds som funktion af tiden for driftssituation 2b. Den tilførte effekt fra kedelkredsen er efter 10 minutters drift 13 kW, mens den bortførte effekt til rumvarmekredsen er 3 kW.

3.5.1 Temperatur- og strømningsforhold omkring indløb og udløb

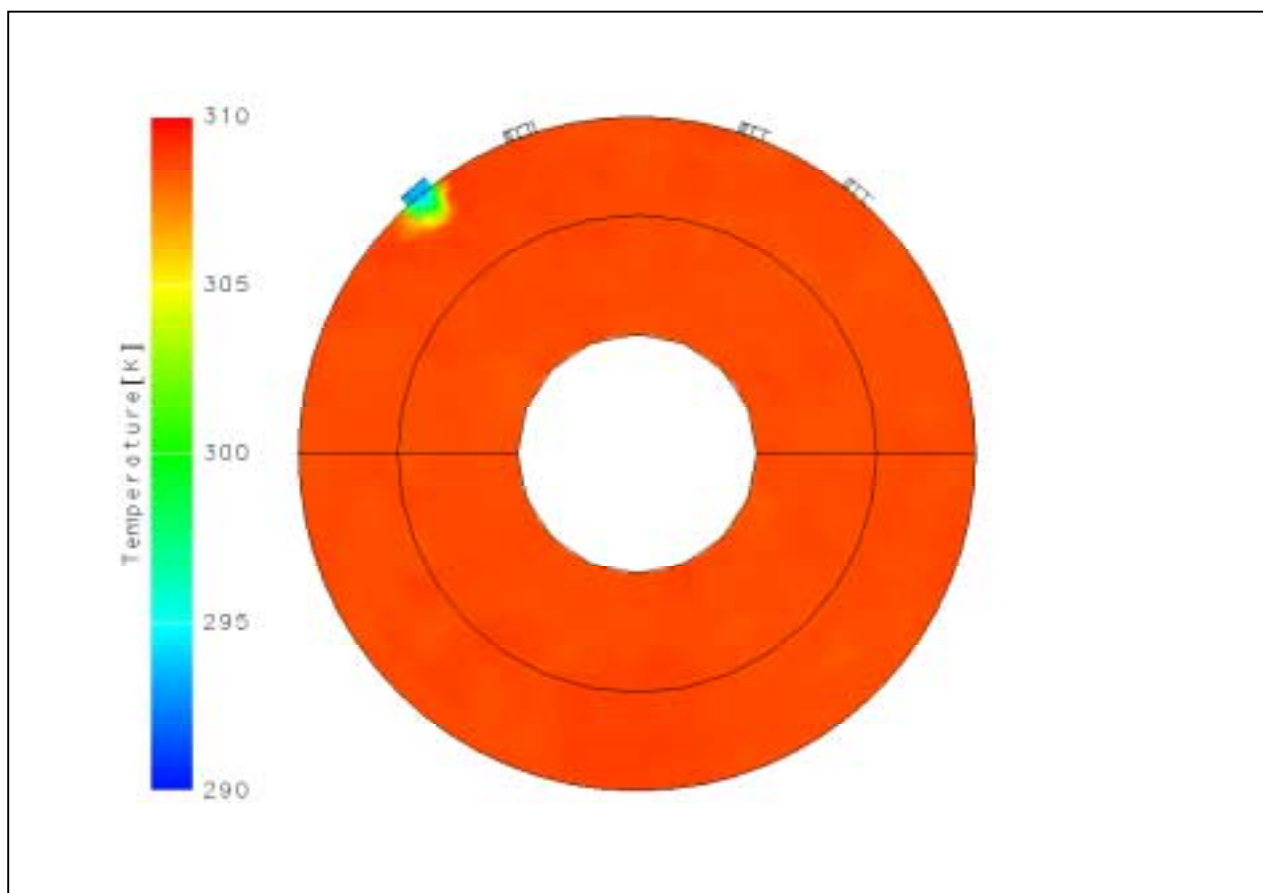
Ved driftssituation 2b er der ikke nogen forskel i temperaturen omkring indløb fra kedelkreds og strømningsforhold omkring indløb og udløb for kedelkredsen i forhold til driftssituation 2a. Disse forhold vises derfor ikke, men der henvises til Figur 38 - Figur 41.

Figur 46 og Figur 47 viser temperaturen af rumvarmevandet ved henholdsvis et vandret og et lodret snit gennem indløbet fra rumvarmekredsen. Figur 48 og Figur 49 viser strømningerne ved henholdsvis et vandret og et lodret snit gennem indløbet fra rumvarmekredsen. Størrelsen af vektorene i Figur 48 og Figur 49 fortæller ikke noget om hastigheden, men kun noget om retningen.

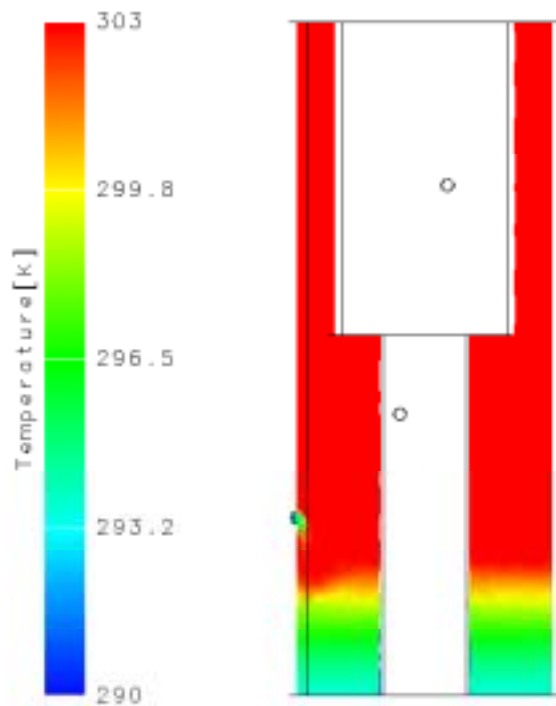
Det ses af Figur 46, at temperaturen af rumvarmevandet kun påvirkes tæt på indløbet af det kolde vand, der kommer retur fra rumvarmekredsen. Af Figur 47 kan det ses, at idet flowet i rumvarmekredsen ikke er særlig stort, så strømmer det kolde indløbsvand fra rumvarmekredsen hurtigt nedad i rumvarmetanken på grund af temperaturforskellene. Indløbstemperaturen af vandet fra rumvarmekredsen er 20,5°C, mens temperaturen af vandet i rumvarmetanken i niveau med

indløbet er 36°C. Af Figur 48 og Figur 49 ses det også, at det indkommende vand hurtigt strømmer nedad i beholderen, ligesom det blev indikeret af Figur 46 og Figur 47. Det kan konkluderes at ved denne driftssituation giver indløbet til rumvarmetanken fra rumvarmekredsen ikke anledning til omrøring i rumvarmetanken.

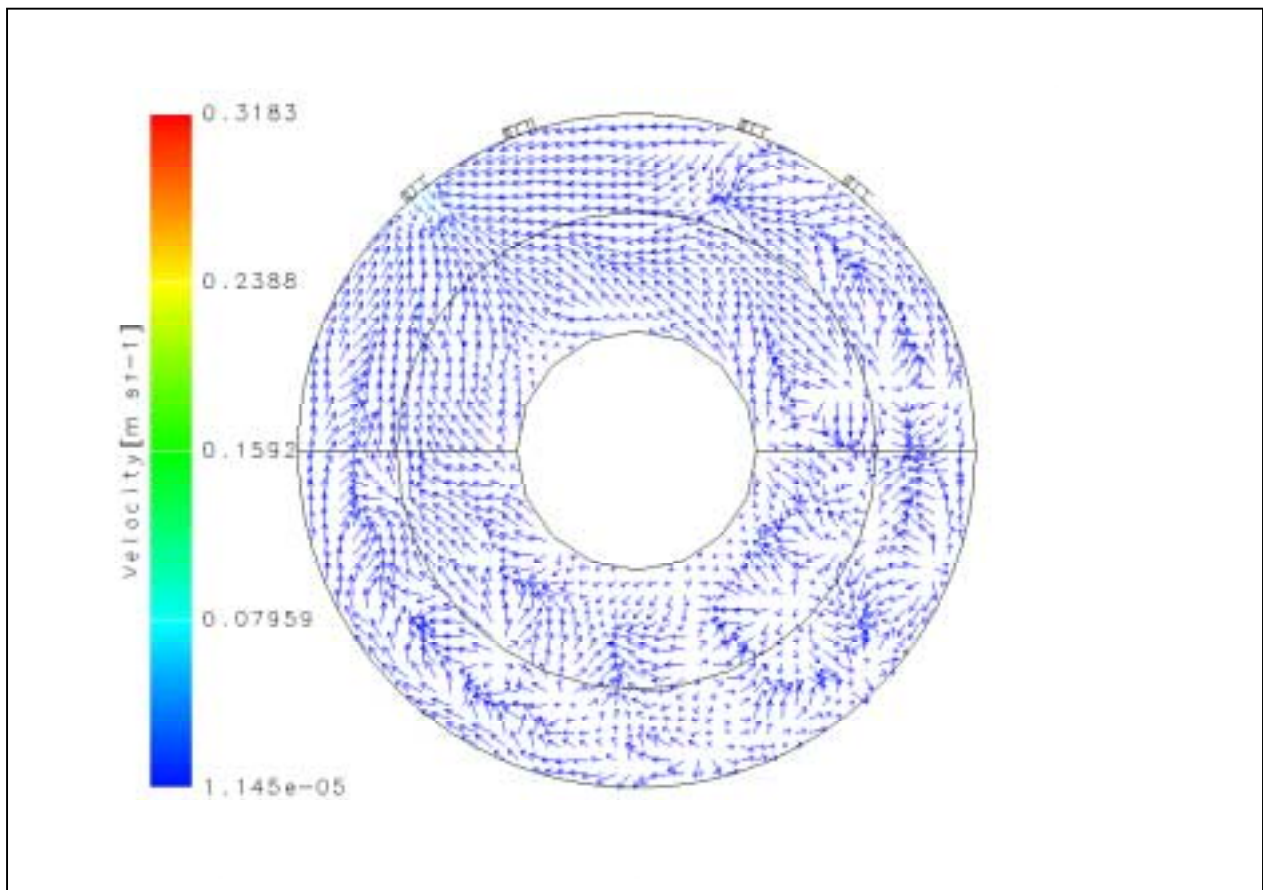
Hvis Figur 48 og Figur 49 sammenlignes med Figur 32 og Figur 33 (der viser de samme strømninger ved driftssituation 1c) ses det, at strømningsforholdene er meget ens specielt i det vandrette plan. I det lodrette plan er der den forskel, at vandet ved driftssituation 1c (Figur 33) søger længere ned i tanken før det finder et sted med termisk ligevægt. Det skyldes at temperaturen af vandet i rumvarmetanken under niveauet for indløbet fra rumvarmekredsen er højere for driftssituation 1c end for driftssituation 2b.



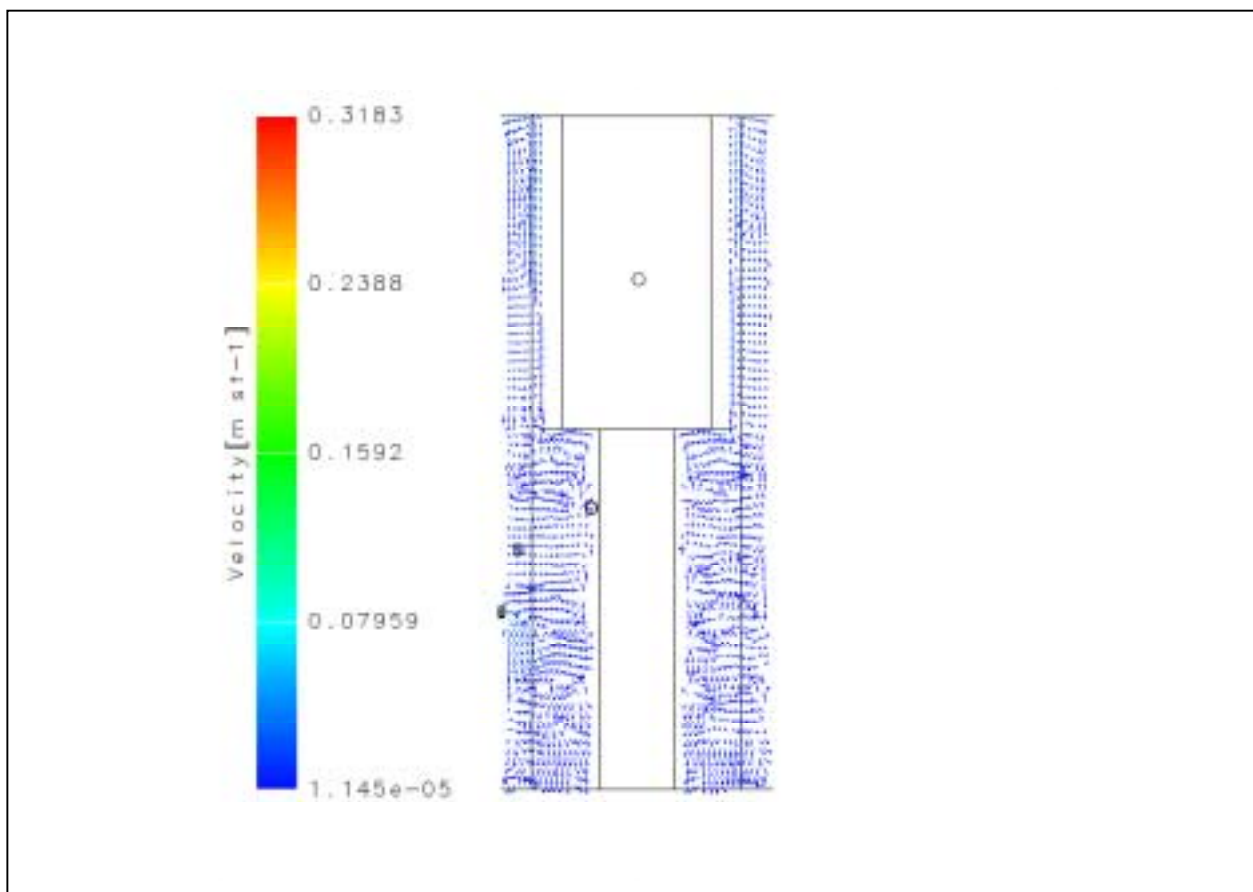
Figur 46: Beregnede temperaturer af rumvarmevandet ved et vandret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen (efter 10 minutter opvarmning). Farveskalaen angiver temperaturerne i [K].



Figur 47: Beregnede temperaturer af rumvarmevandet ved et lodret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen (efter 10 minutter opvarmning). Farveskalaen angiver temperaturerne i [K].



Figur 48: Vektorer, der viser strømmingen i et vandret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen. Størrelsen af vektorerne viser ikke noget om strømmingens størrelse, men viser kun strømmingens retning. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].

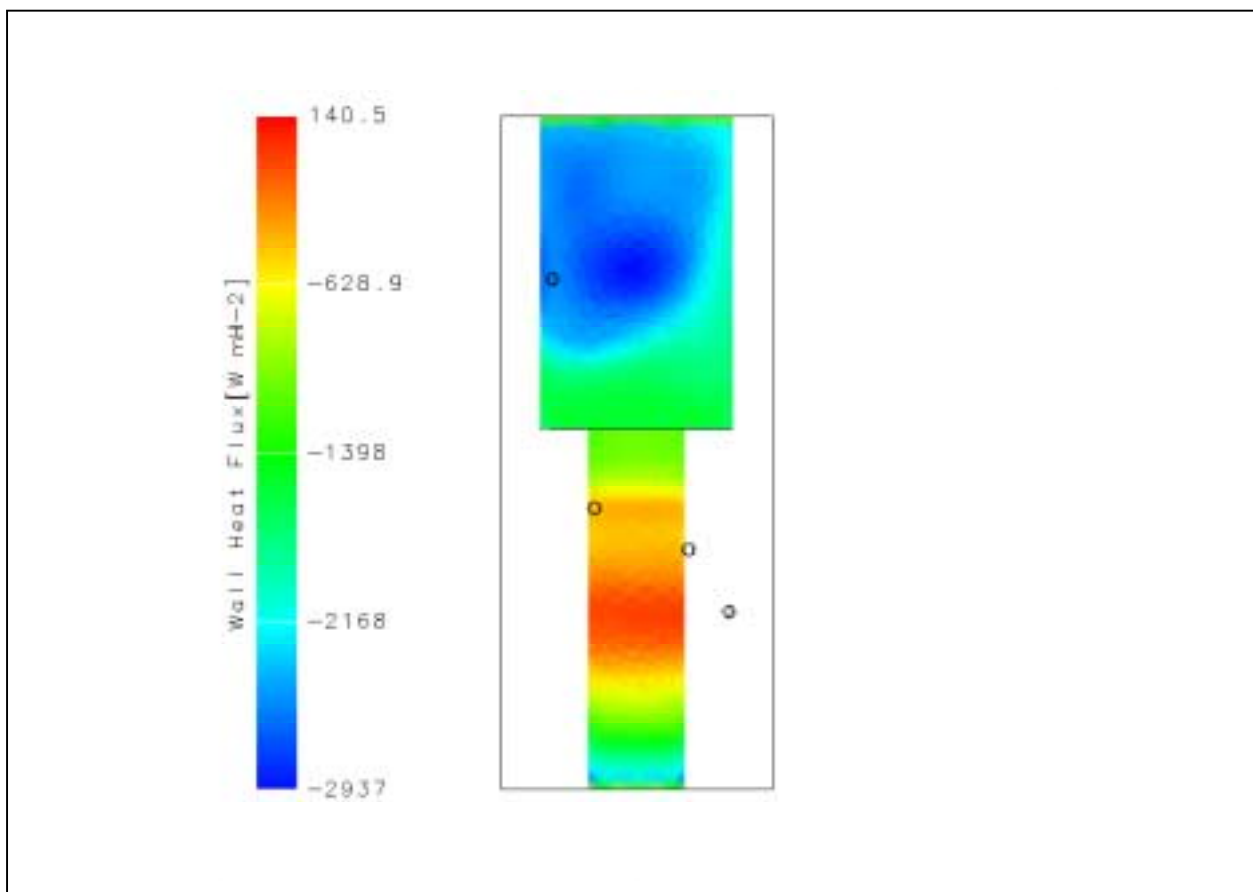


Figur 49: Vektorer, der viser strømmingen i et lodret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen. Størrelsen af vektorerne viser ikke noget om strømningens størrelse, men viser kun strømningens retning. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].

3.5.2 Varmetransport ved varmtvandsbeholder

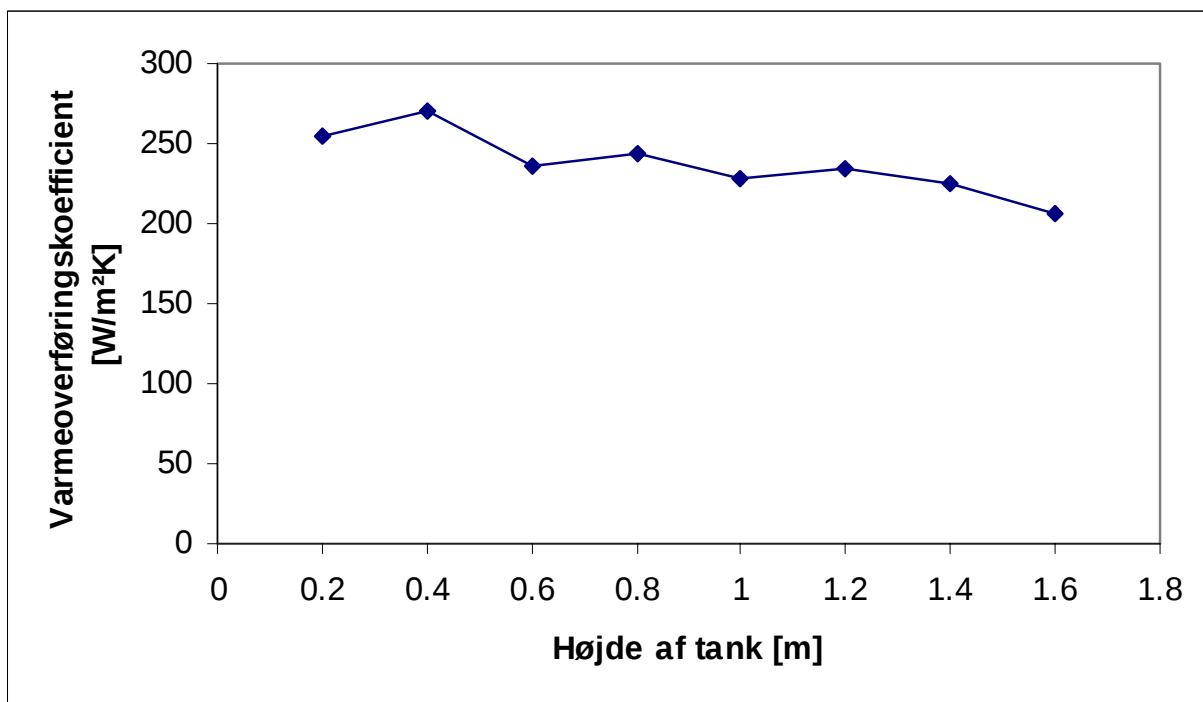
CFD-programmet beregner varmetransporten mellem vand i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvandet, mens varmeoverføringskoefficienten mellem vand i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvand (dvs. ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen) beregnes ved ligning (2).

Figur 50 viser den beregnede varmefflux mellem vandet i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvandet. En negativ varmefflux på Figur 50 betyder, at varmen overføres fra rumvarmevand til tankvæg mod brugsvand. Det ses, at varmeffluxen ligesom ved driftssituation 2a er størst på den øverste del af tankvæggen udfor indløbet fra kedelkredsen. Det ses endvidere af Figur 50, at varmetransporten er lille i niveauet mellem udløb til rumvarme og indløb fra rumvarme, og det skyldes, at temperaturforskellen mellem yderside af varmtvandsbeholder og vand i rumvarmetanken i dette niveau er meget lille. Den samlede overførte effekt fra rumvarmetanken til varmtvandsbeholderen er ved denne driftssituation $1,6 \text{ kW/m}^2$ svarende til $2,9 \text{ kW}$.



Figur 50: Den beregnede varmefflux mellem rumvarmevand og yderside af varmtvandsbeholder ved driftssituation 2b. Farveskalaen angiver varmefflux i $[W/m^2]$. En negativ varmefflux angiver at varmen overføres fra rumvarmevand til varmtvandsbeholdervæg.

Figur 51 viser den beregnede varmeoverføringskoefficient fra vandet i rumvarmetanken til varmtvandsbeholdervæggen som funktion af højden. Varmeoverføringskoefficienten varierer mellem $206 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ og $270 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Den gennemsnitlige varmeoverføringskoefficient er ved denne driftssituation beregnet til $237 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ og totalt overføres der 436 W/K .

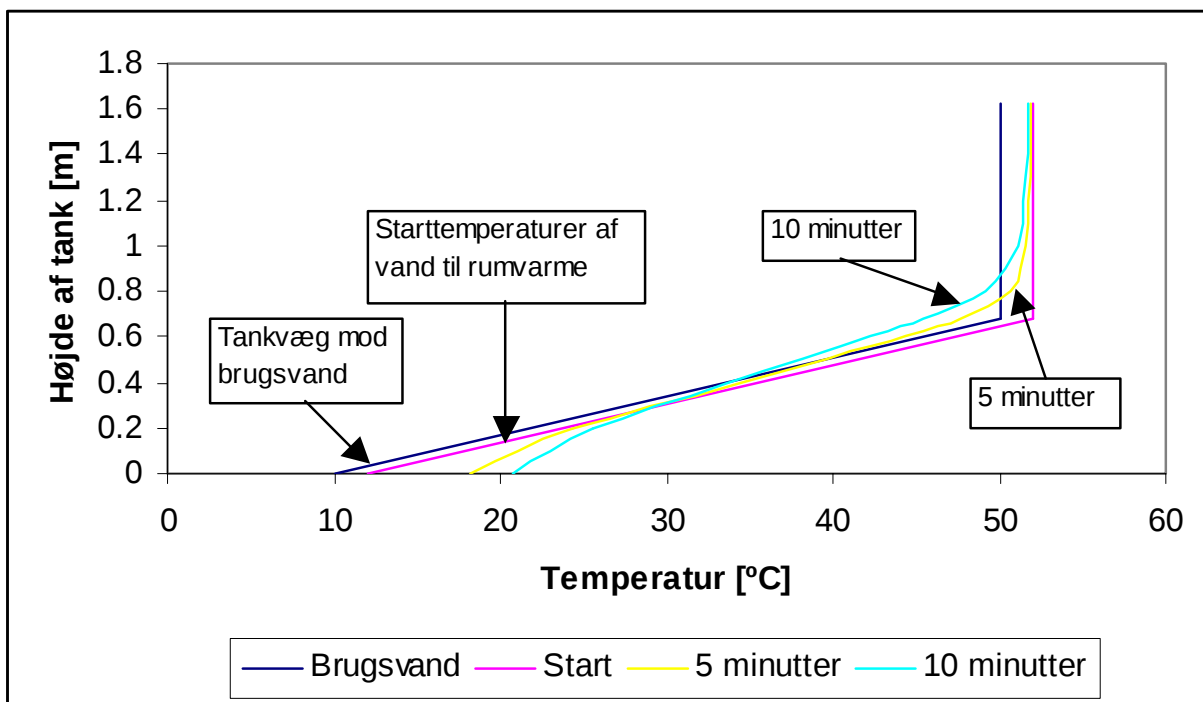


Figur 51: Den beregnede varmeoverføringskoefficient for ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen ved driftssituation 2b som funktion af højden. Varmeoverføringskoefficienten er beregnet hjælp af ligning (2).

3.6 Driftssituation 2c

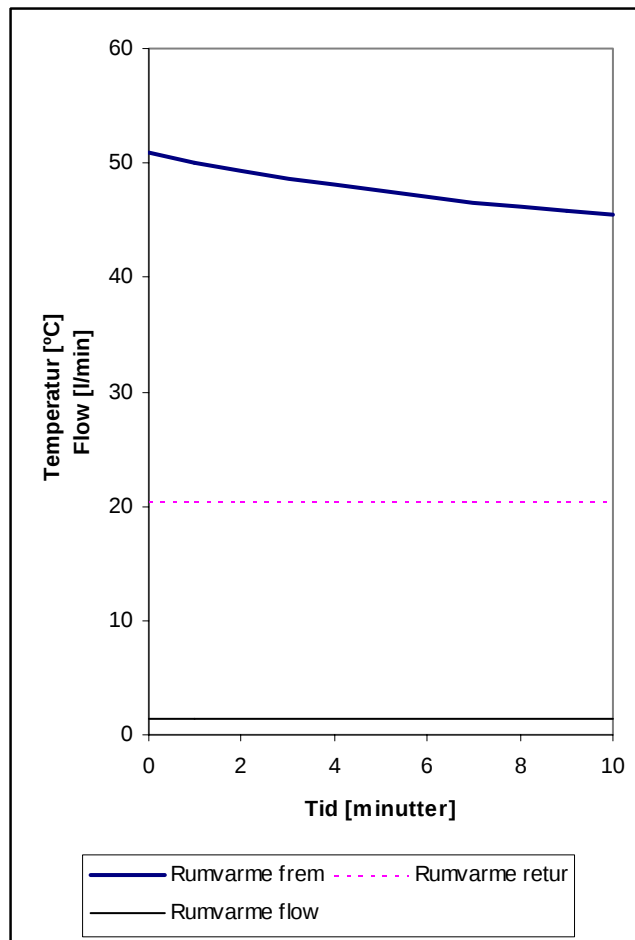
Ved driftssituation 2c benyttes starttemperaturerne angivet i Figur 6. Kedlen er ikke i drift. Rumvarmekredsen er i drift med et flow på 1,4 l/min og en returtemperatur til rumvarmetanken på 20,5°C.

Figur 52 viser temperaturlagdelingen i rumvarmetanken ved simuleringens start, efter 5 minutter og efter 10 minutter. Det ses, at den bortførte effekt til rumvarmekredsen gør, at den midterste del af tanken bliver afkølet, hvorimod temperaturen i toppen af tanken forbliver stort set uændret.



Figur 52: Beregnede temperaturer i rumvarmetanken ved start, efter 5 minutter og efter 10 minutter ved driftssituation 2c.

Figur 53 viser de beregnede temperaturer for indløb og udløb af rumvarmekredsen samt flowet i rumvarmekredsen. Både temperaturer og flow er vist som funktion af tiden. Indløbstemperaturen fra rumvarmekredsen til rumvarmetank samt flow i rumvarmekredsen er konstant på henholdsvis 20,5°C og 1,4 l/min. Udløbstemperaturen fra rumvarmetank til rumvarmekreds falder fra 51°C til 46°C. Den bortførte effekt til rumvarmekredsen falder i løbet af de 10 minutters drift fra 2,9 kW til 2,4 kW.



Figur 53: Ind- og udløbstemperaturer fra rumvarmekreds samt flow i rumvarmekreds som funktion af tiden for driftssituation 2c. Den bortførte effekt til rumvarmekredsen er efter 10 minutters drift 2,4 kW.

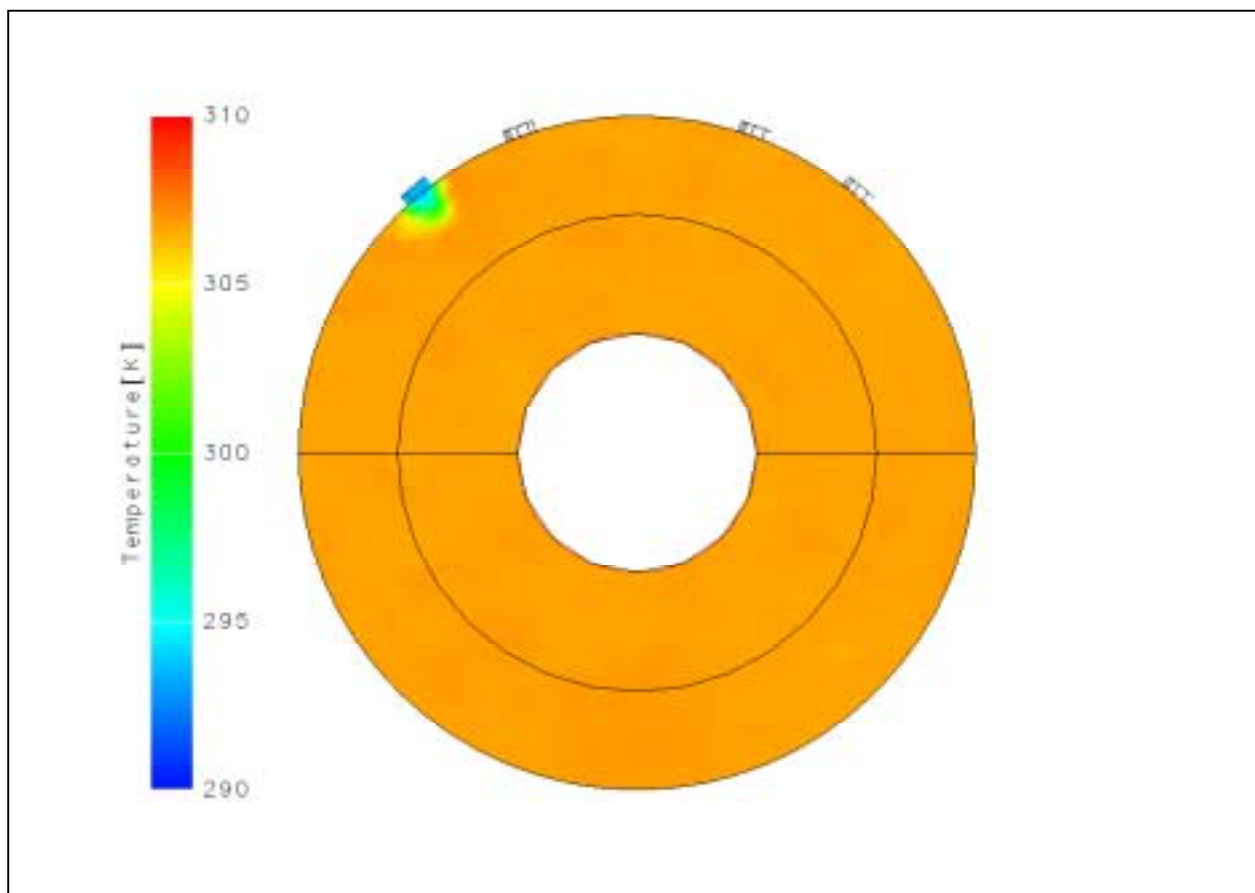
3.6.1 Temperatur- og strømningsforhold omkring indløb og udløb

Kedlen er ikke i drift ved denne driftssituation, derfor vises hverken temperatur- eller strømningsforhold omkring indløb og udløb fra kedelkredsen.

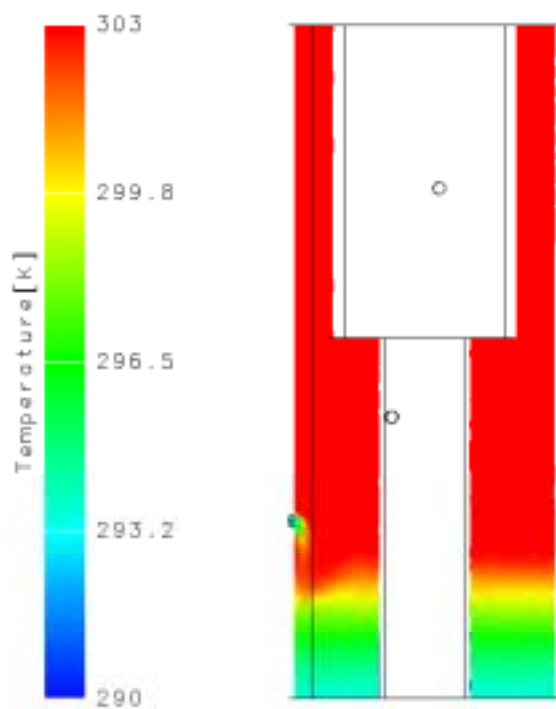
Figur 54 og Figur 55 viser temperaturen af rumvarmevandet ved henholdsvis et vandret og et lodret snit gennem indløbet fra rumvarmekredsen. Figur 56 og Figur 57 viser strømningerne ved henholdsvis et vandret og et lodret snit gennem indløbet fra rumvarmekredsen. Størrelsen af vektorerne i Figur 56 og Figur 57 fortæller ikke noget om hastigheden, men kun noget om retningen. Figur 56 og Figur 57 viser at strømningsforholdene omkring indløbet fra rumvarmekredsen er stort set identisk med forholdene ved driftssituation 2b, hvilket antyder, at kedelkredsen ikke har den store indflydelse på disse forhold.

Figur 58 viser strømningerne ved et vandret snit gennem udløbet fra rumvarmetanken til rumvarmekredsen. Størrelsen af vektorerne i Figur 58 fortæller ikke noget om hastigheden, men kun noget om retningen. Det ses at en stor del af bevægelserne i vandet er rettet over mod udløbet til rumvarmekredsen. Til forskel fra driftssituation 1b (Figur 25) er der ikke nogen nedadrettet strømning tæt på ydersiden af varmtvandsbeholderen. Det skyldes at kedelkredsen ikke er i drift

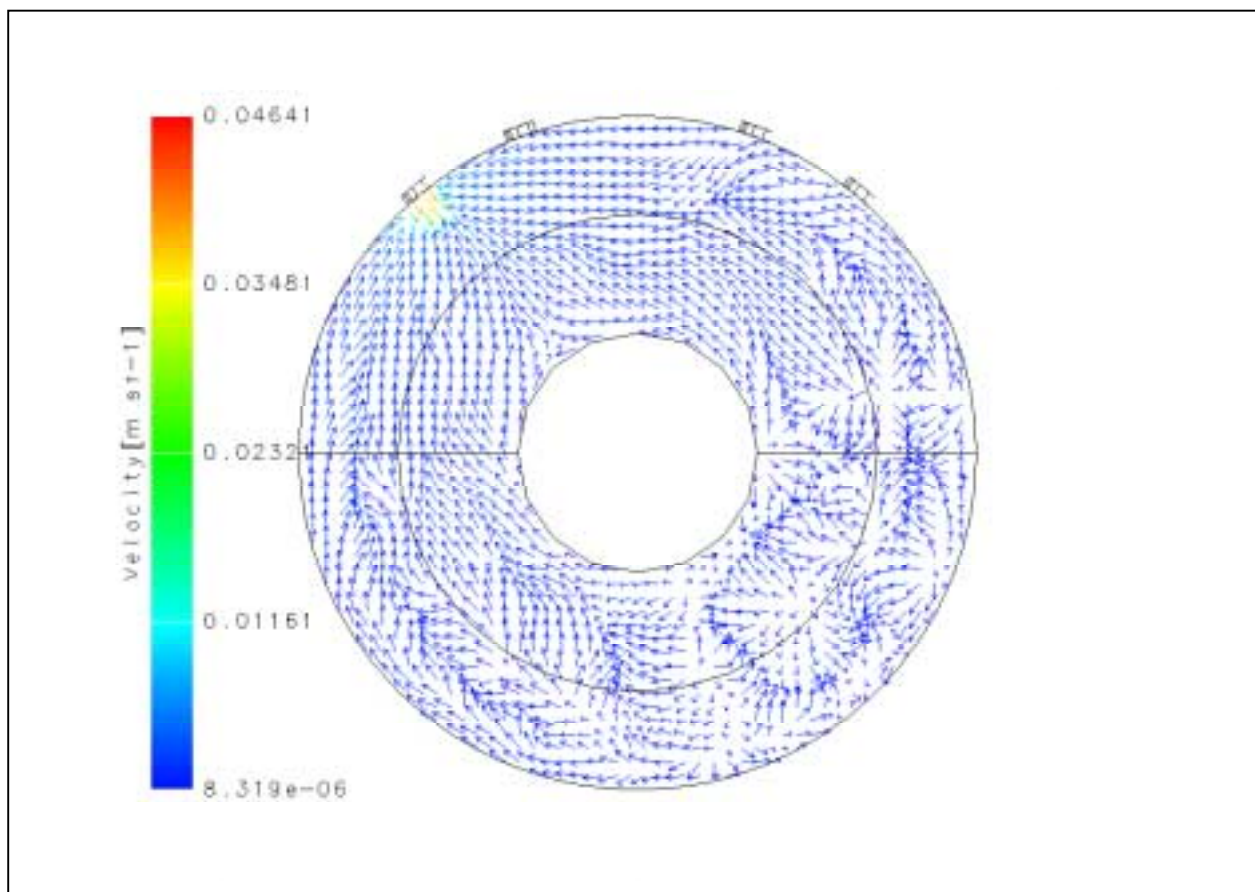
ved driftssituation 2c, samt at ved driftssituation 2c er der i dette niveau en minimal temperaturforskel mellem ydersiden af varmtvandsbeholderen og rumvarmevandet.



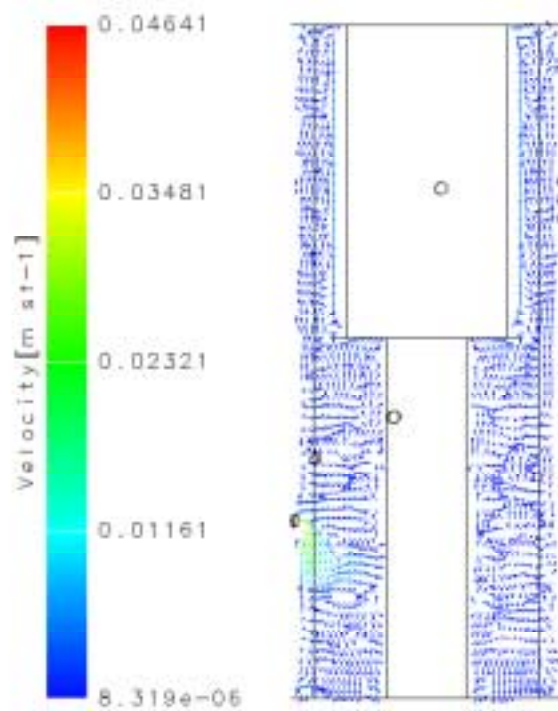
Figur 54: Beregnede temperaturer af rumvarmevandet ved et vandret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen (efter 10 minutter opvarmning). Farveskalaen angiver temperaturerne i [K].



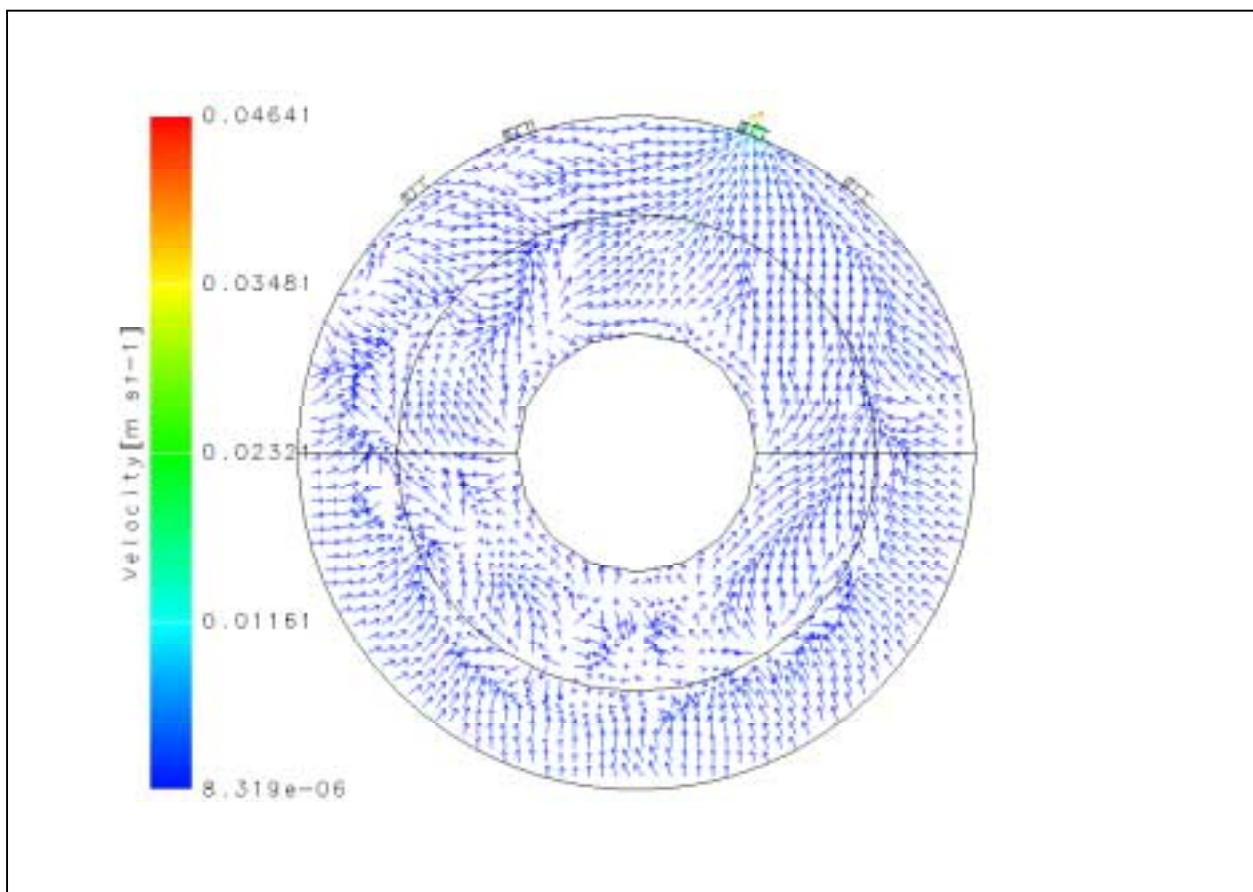
Figur 55: Beregnede temperaturer af rumvarmevandet ved et vandret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen (efter 10 minutter opvarmning). Farveskalaen angiver temperaturerne i [K].



Figur 56: Vektorer, der viser strømmingen i et vandret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen. Størrelsen af vektorerne viser ikke noget om strømmingens størrelse, men viser kun strømmingens retning. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].



Figur 57: Vektorer, der viser strømmingen i et lodret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen. Størrelsen af vektorerne viser ikke noget om strømmingens størrelse, men viser kun strømmingens retning. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].

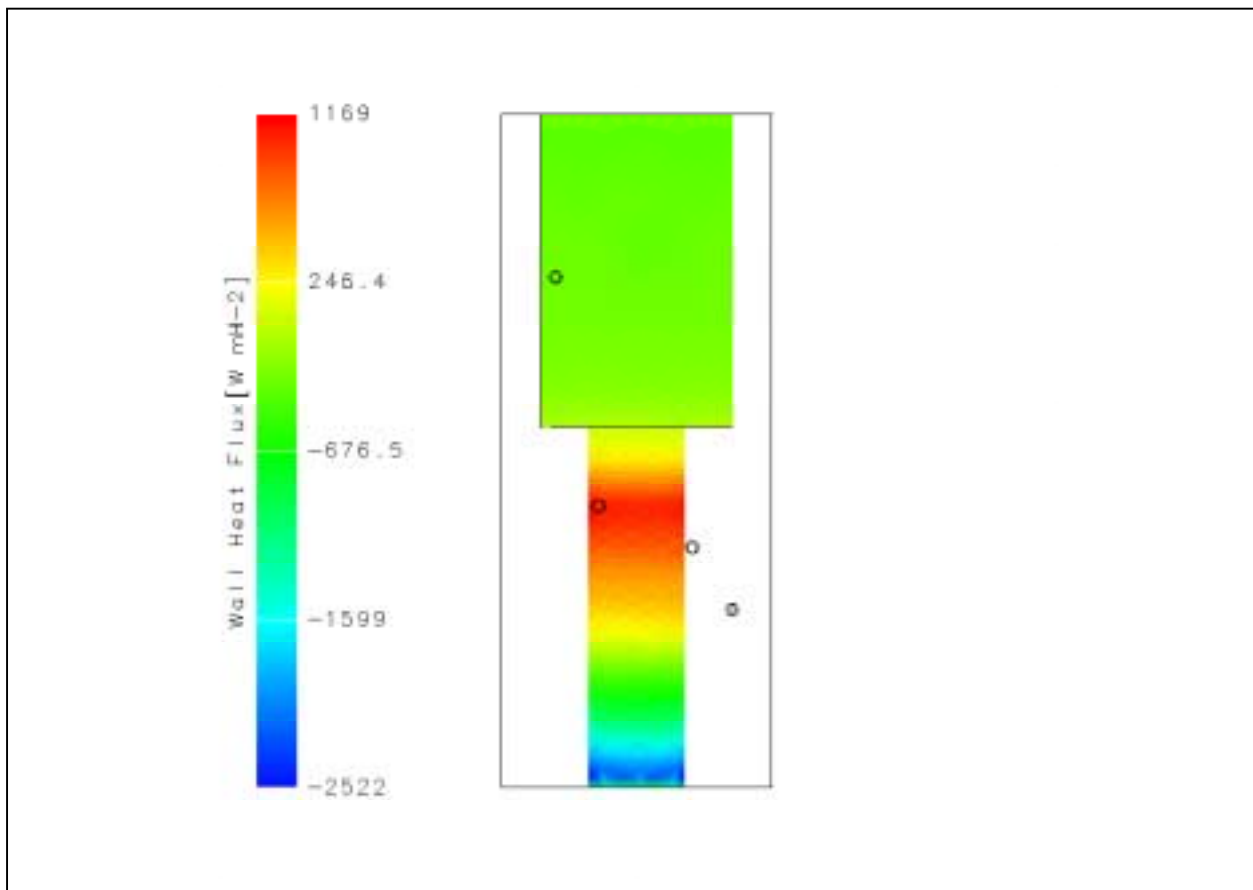


Figur 58: Vektorer, der viser strømmingen i et vandret snit udfor udløbet til rumvarmekredsen. Størrelsen af vektorerne viser ikke noget om strømmingens størrelse, men viser kun strømmingens retning. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].

3.6.2 Varmetransport ved varmtvandsbeholder

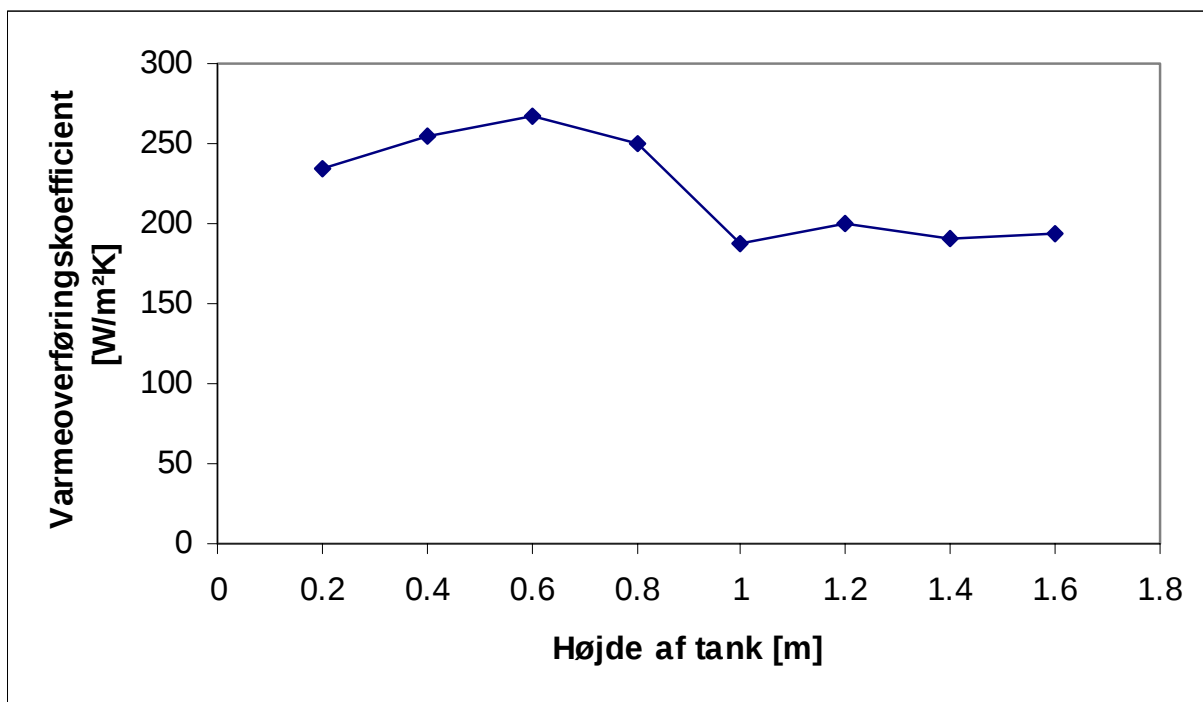
CFD-programmet beregner varmetransporten mellem vand i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvandet, mens varmeoverføringskoefficienten mellem vand i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvand (dvs. ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen) beregnes ved ligning (2).

Figur 59 viser den beregnede varmeflux mellem vandet i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvandet. En negativ varmeflux på Figur 59 betyder, at varmen overføres fra rumvarmevand til tankvæg mod brugsvand. Det ses, at varmefluxen ligesom ved driftssituation 2a er størst på den øverste del af tankvæggen udfor indløbet fra kedelkredsen. Det ses endvidere af Figur 59, at i niveauet mellem udløb til rumvarme og indløb fra rumvarme tilføres der varme til rumvarmevand fra varmtvandsbeholderen. Det skyldes, at temperaturen af rumvarmevand i dette niveau er lavere end temperaturen af ydersiden af varmtvandsbeholderen. Den samlede overførte effekt fra rumvarmetanken til varmtvandsbeholderen er ved denne driftssituation $0,2 \text{ kW/m}^2$ svarende til $0,4 \text{ kW}$.



Figur 59: Den beregnede varmekraft mellem rumvarmevand og yderside af varmtvandsbeholder ved driftssituation 2c. Farveskalaen angiver varmekraft i $[\text{W}/\text{m}^2]$. En negativ varmekraft angiver at varmen overføres fra rumvarmevand til varmtvandsbeholdervæg.

Figur 60 viser den beregnede varmeoverføringskoefficient fra vandet i rumvarmetanken til varmtvandsbeholdervæggen som funktion af højden. Varmeoverføringskoefficienten varierer mellem $188 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ og $270 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$. Det ses dog af Figur 60, at varmeoverføringskoefficienten i toppen af beholderen falder, hvilket skyldes at kedelkredsen ikke er i drift, og derved er der ikke så meget bevægelse i den del af rumvarmetanken. Den gennemsnitlige varmeoverføringskoefficient er ved denne driftssituation beregnet til $222 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ og totalt overføres der $409 \text{ W}/\text{K}$.

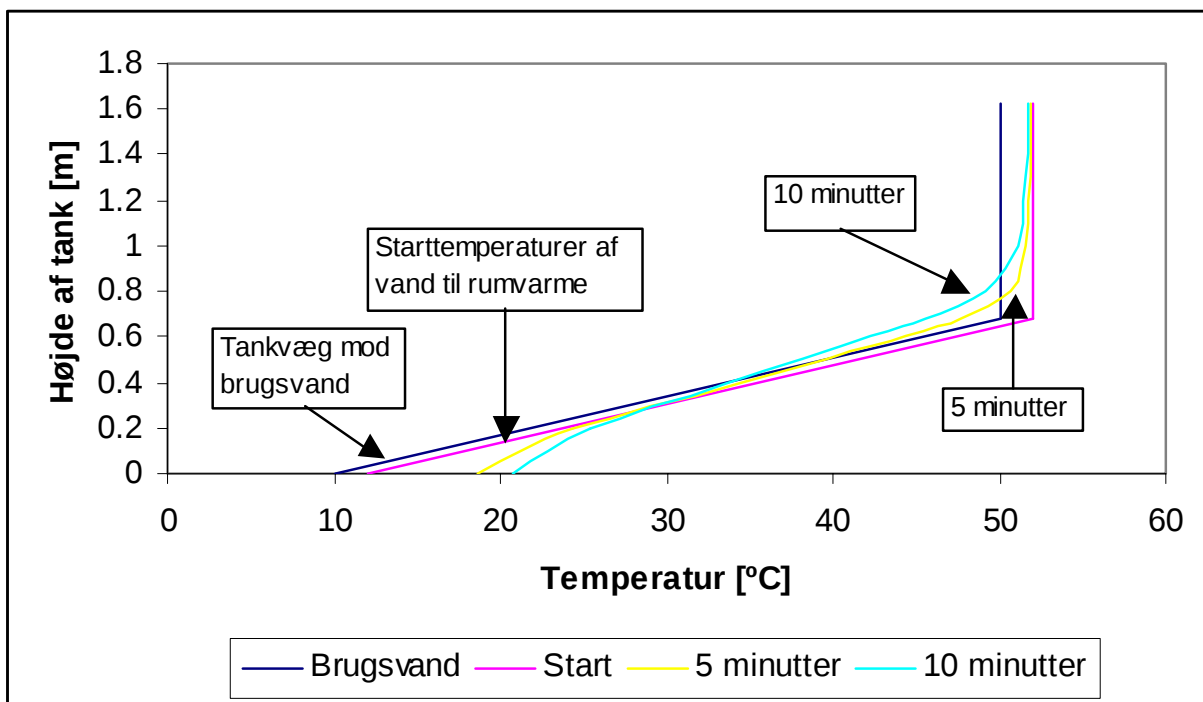


Figur 60: Den beregnede varmeoverføringskoefficient for ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen ved driftssituation 2c som funktion af højden. Varmeoverføringskoefficienten er beregnet hjælp af ligning (2).

3.7 Driftssituation 2d

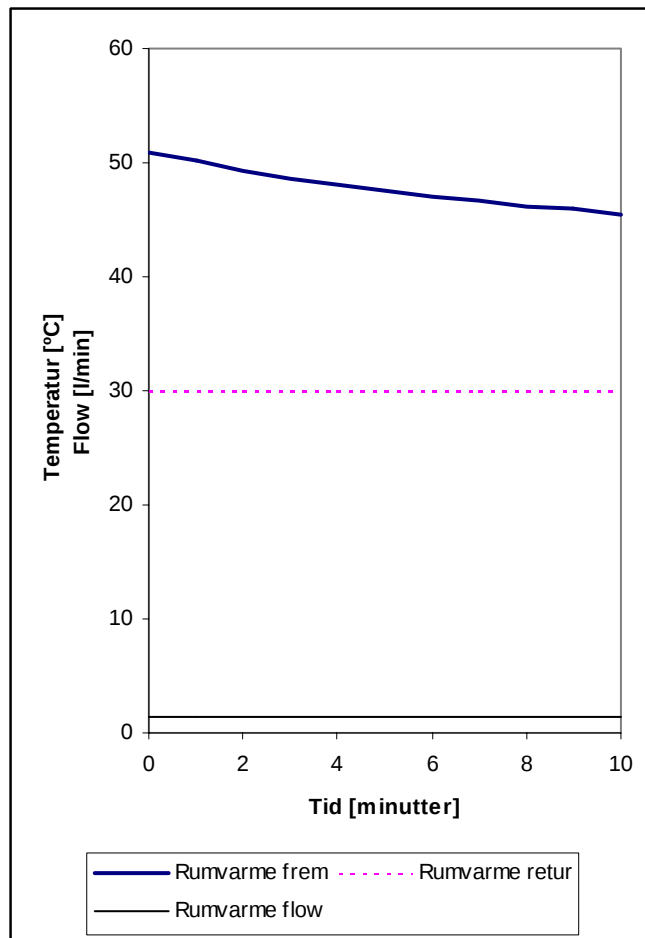
Ved driftssituation 2d benyttes starttemperaturerne angivet i Figur 6. Kedlen er ikke i drift. Rumvarmekredsen er i drift med et flow på 1,4 l/min og en returtemperatur til rumvarmetanken på 30°C.

Figur 61 viser temperaturlagdelingen i rumvarmetanken ved simuleringens start, efter 5 minutter og efter 10 minutter. Det ses, at den bortførte effekt til rumvarmekredsen gør, at den midterste del af tanken bliver afkølet, hvorimod temperaturen i toppen af tanken forbliver stort set uændret. I forhold til driftssituation 2c er returtemperaturen fra rumvarmekredsen ændret fra 20,5°C til 30°C, men den ændring har minimal indflydelse på temperaturlagdelingen i rumvarmetanken.



Figur 61: Beregnede temperaturer i rumvarmetanken ved start, efter 5 minutter og efter 10 minutter ved driftssituation 2d.

Figur 62 viser de beregnede temperaturer for indløb og udløb af rumvarmekredsen samt flowet i rumvarmekredsen. Både temperaturer og flow er vist som funktion af tiden. Indløbstemperaturen fra rumvarmekredsen til rumvarmetank samt flow i rumvarmekredsen er konstant på henholdsvis 30°C og 1,4 l/min. Udløbstemperaturen fra rumvarmetank til rumvarmekreds falder fra 51°C til 46°C. Den bortførte effekt til rumvarmekredsen falder i løbet af de 10 minutters drift fra 2,0 kW til 1,5 kW.

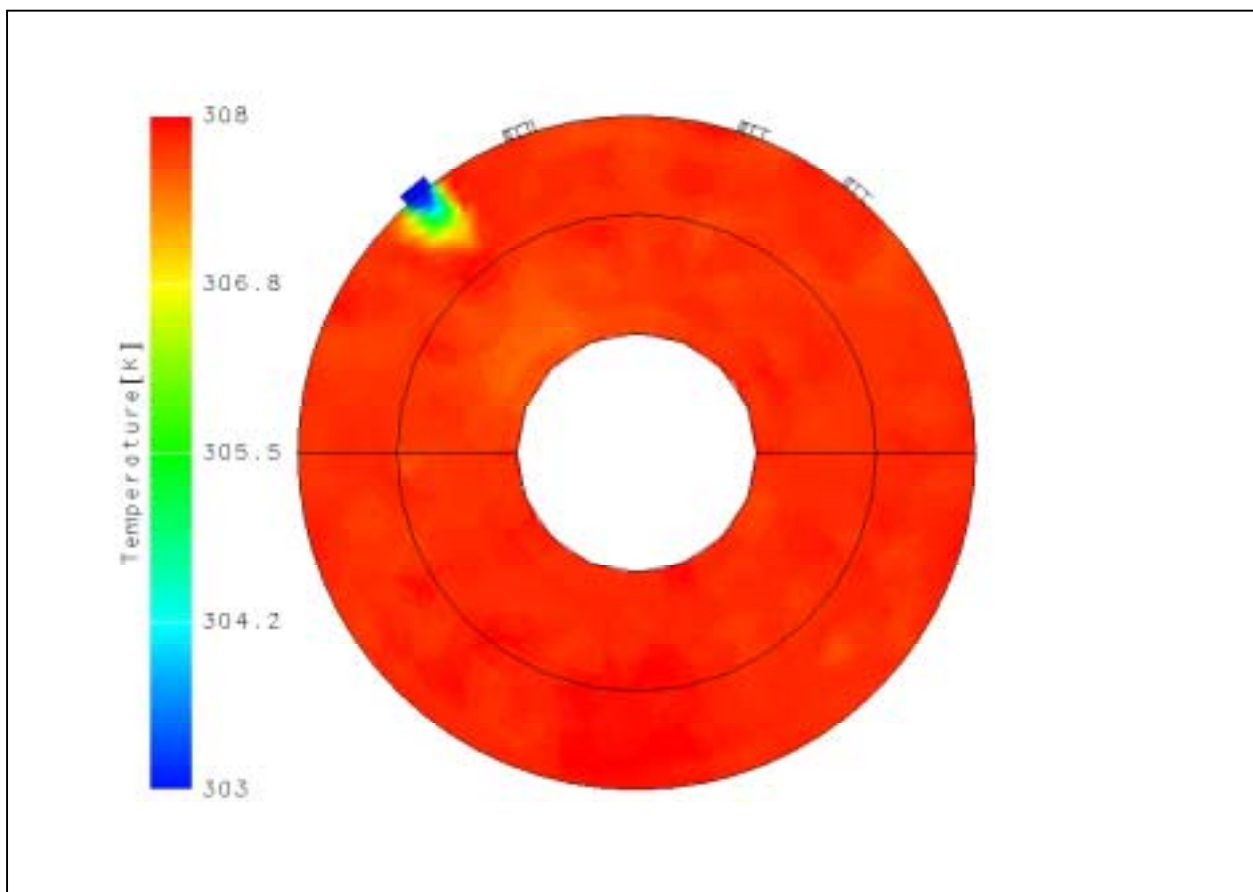


Figur 62: Ind- og udløbstemperaturer fra rumvarmekreds samt flow i rumvarmekreds som funktion af tiden for driftssituation 2d. Den bortførte effekt til rumvarmekredsen er efter 10 minutters drift 1,5 kW.

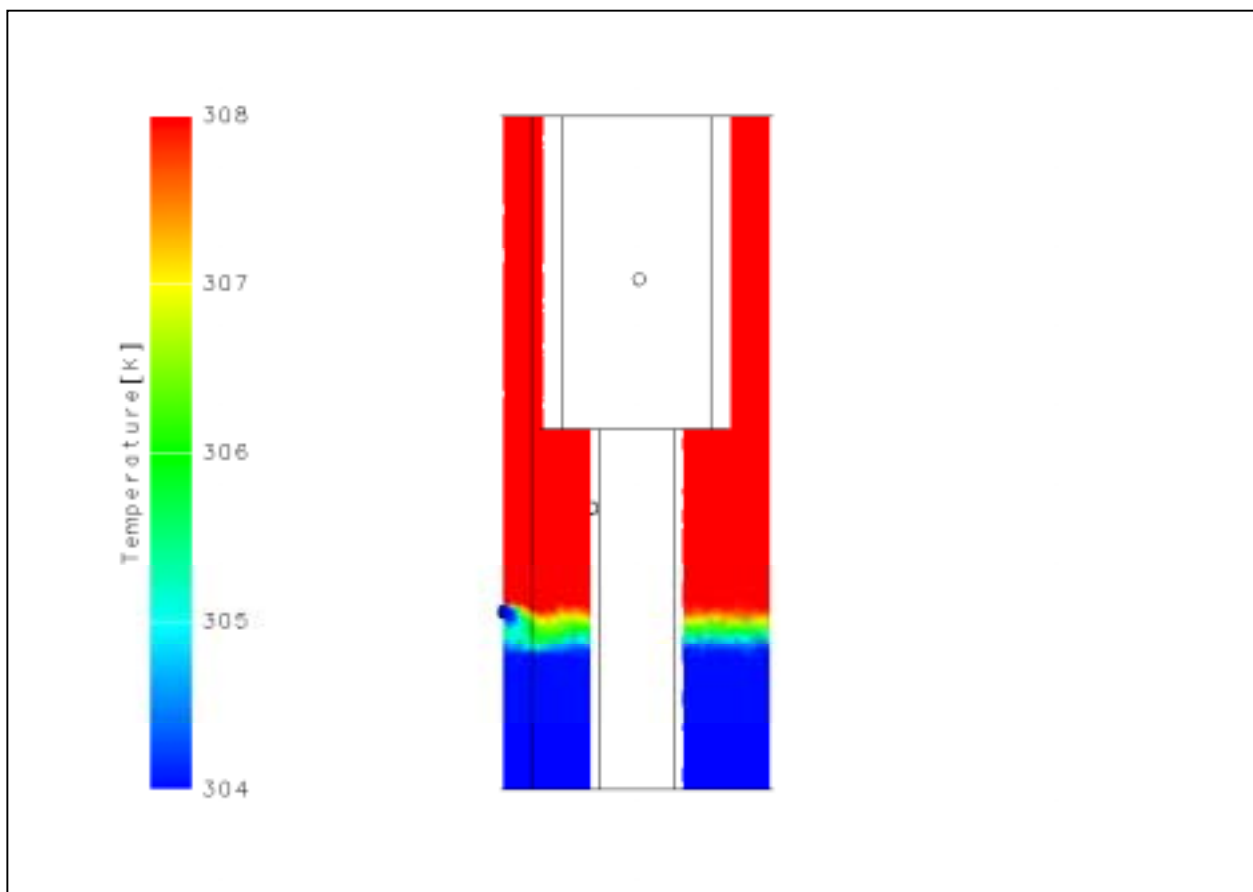
3.7.1 Temperatur- og strømningsforhold omkring indløb og udløb

Kedlen er ikke i drift ved denne driftssituation, derfor vises hverken temperatur- eller strømningsforhold omkring indløb og udløb fra kedelkredsen.

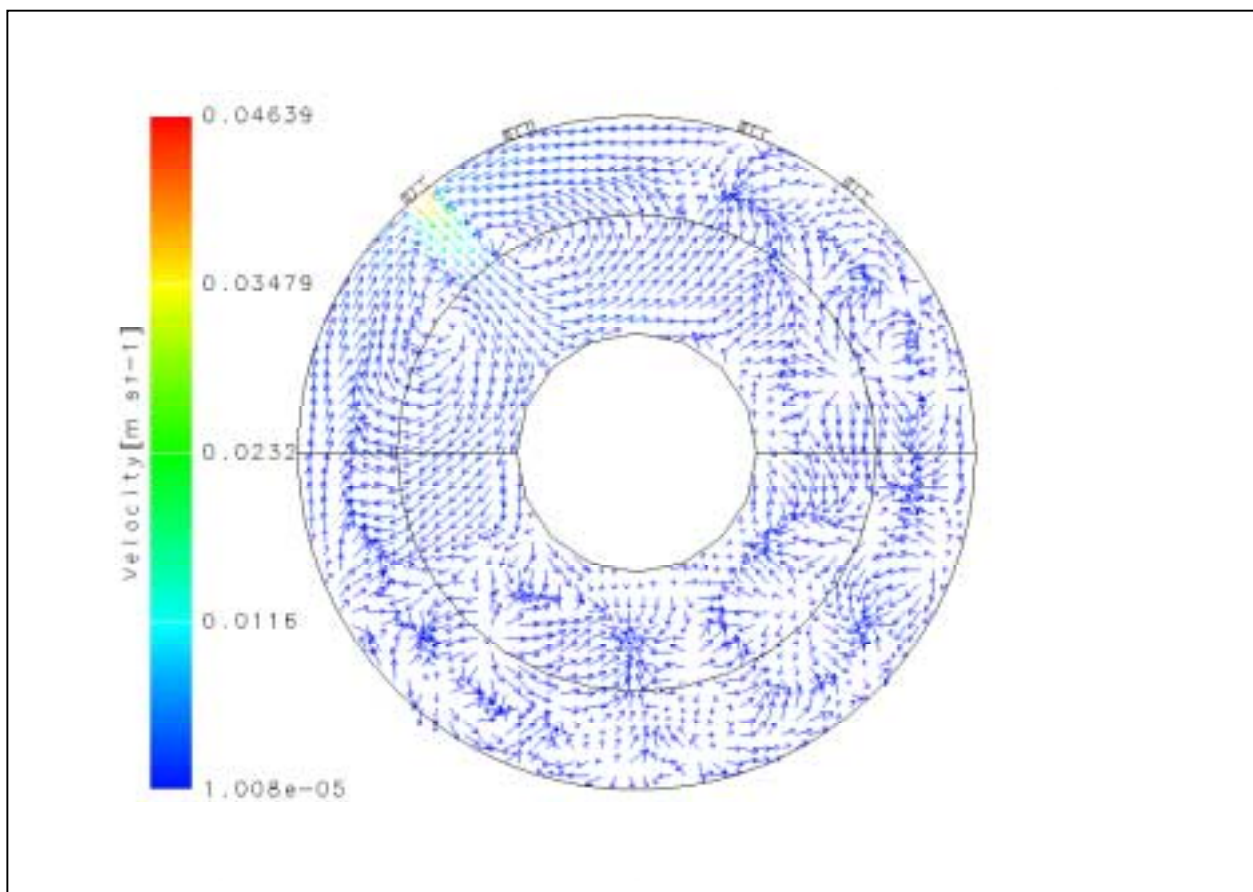
Figur 63 og Figur 64 viser temperaturen af rumvarmevandet ved henholdsvis et vandret og et lodret snit gennem indløbet fra rumvarmekredsen. Figur 65 og Figur 66 viser strømningerne ved henholdsvis et vandret og et lodret snit gennem indløbet fra rumvarmekredsen. Størrelsen af vektorene i Figur 65 og Figur 66 fortæller ikke noget om hastigheden, men kun noget om retningen. Figur 65 og Figur 66 viser hvorledes strømningen omkring indløbet ændrer sig, når indløbstemperaturen ændres fra 20,5°C til 30°C. Da temperaturen af rumvarmevandet i samme niveau som indløbet er ca. 35°C, er der en lille temperaturforskel mellem vandet i tanken og det indstrømmende vand fra rumvarmekredsen. Det gør, at noget af det indstrømmende vand fortsætter over og rammer ydersiden af varmtvandsbeholderen. Noget af det indstrømmende vand strømmer også nedad i tanken men det kommer ikke så langt ned som ved de øvrige driftssituationer. Af Figur 65 fremgår det endvidere, at der dannes recirkulation på hver side af indløbsstrømmen i det vandrette plan.



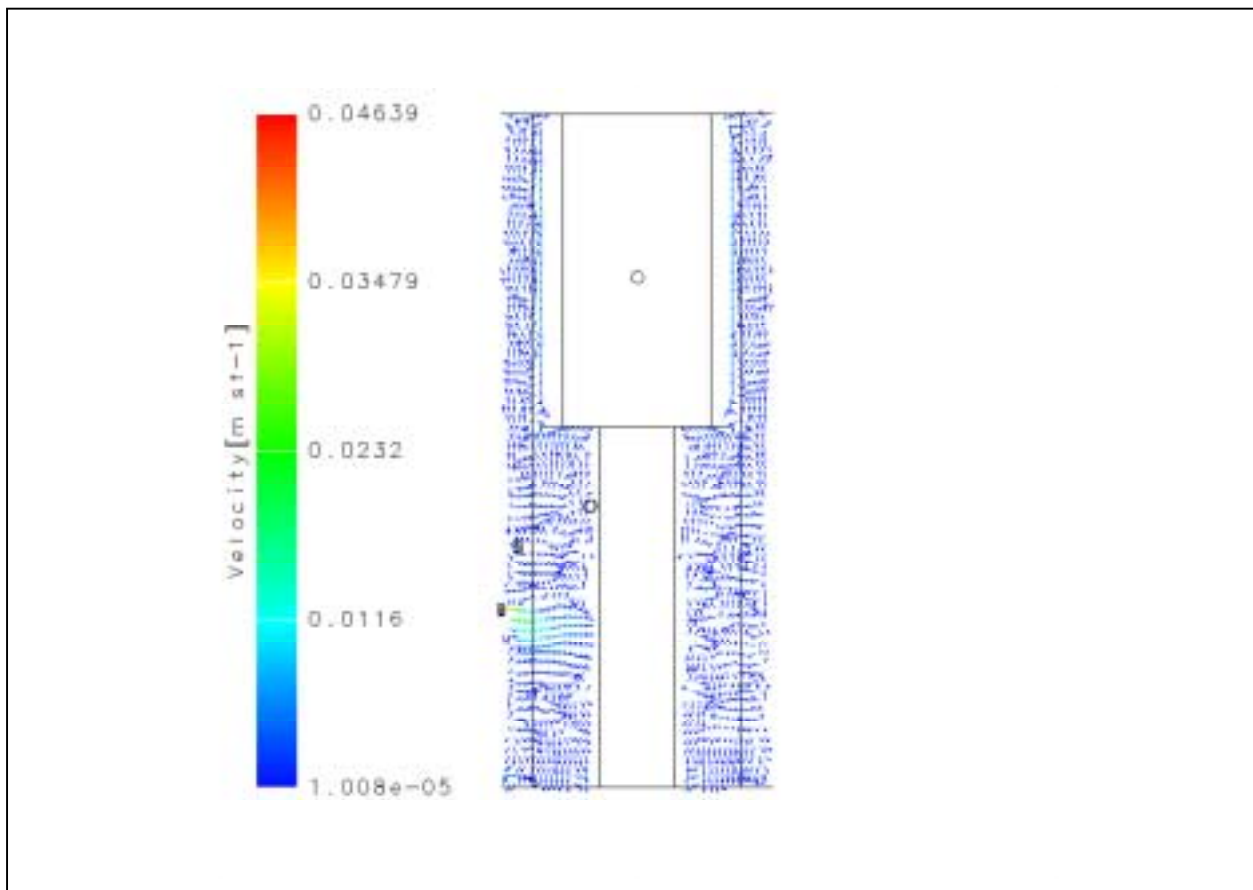
Figur 63: Beregnede temperaturer af rumvarmevandet ved et vandret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen (efter 10 minutter opvarmning). Farveskalaen angiver temperaturerne i [K].



Figur 64: Beregnede temperaturer af rumvarmevandet ved et lodret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen (efter 10 minutter opvarmning). Farveskalaen angiver temperaturerne i [K].



Figur 65: Vektorer, der viser strømmingen i et vandret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen. Størrelsen af vektorerne viser ikke noget om strømmingens størrelse, men viser kun strømmingens retning. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].

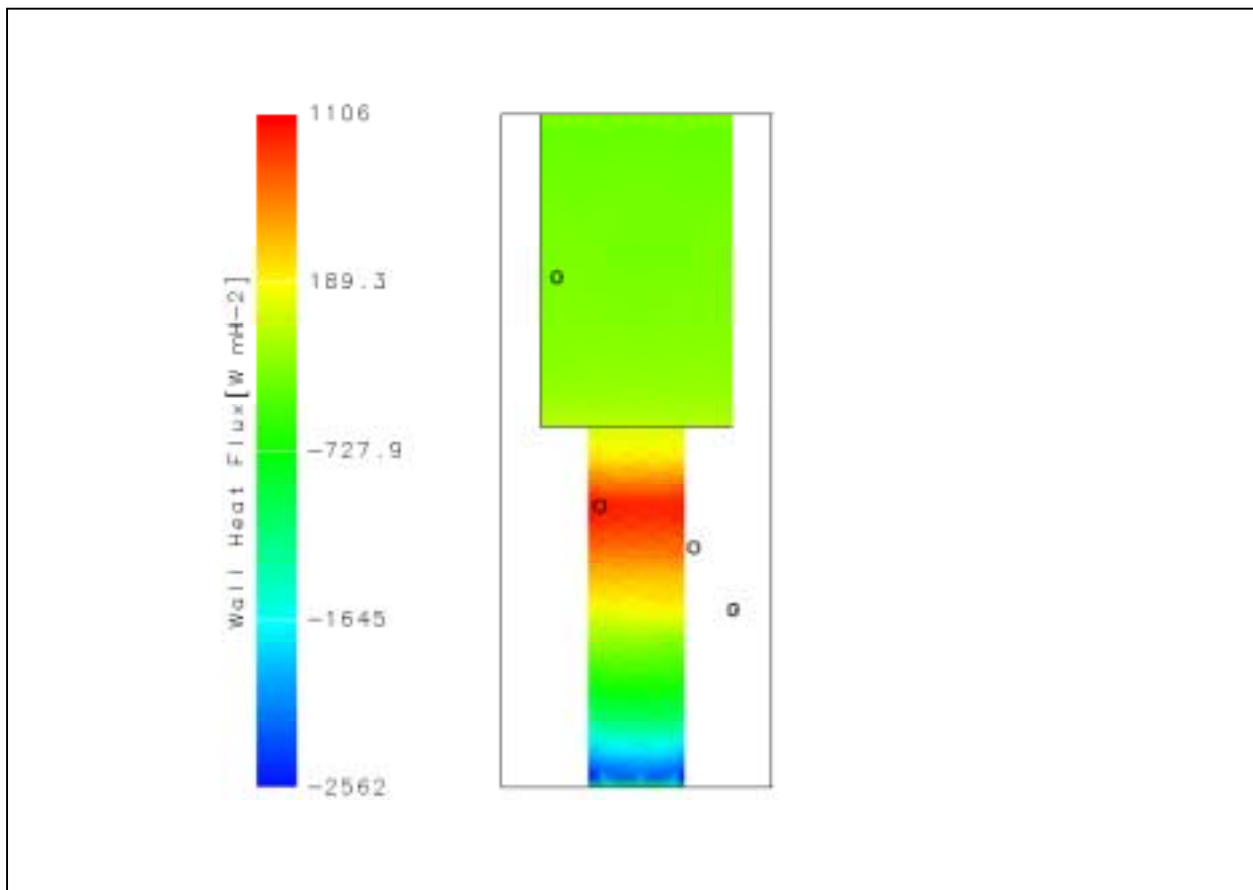


Figur 66: Vektorer, der viser strømmingen i et lodret snit udfor indløbet fra rumvarmekredsen. Størrelsen af vektorerne viser ikke noget om strømmingens størrelse, men viser kun strømmingens retning. Farveskalaen angiver hastigheden i [m/s].

3.7.2 Varmetransport ved varmtvandsbeholder

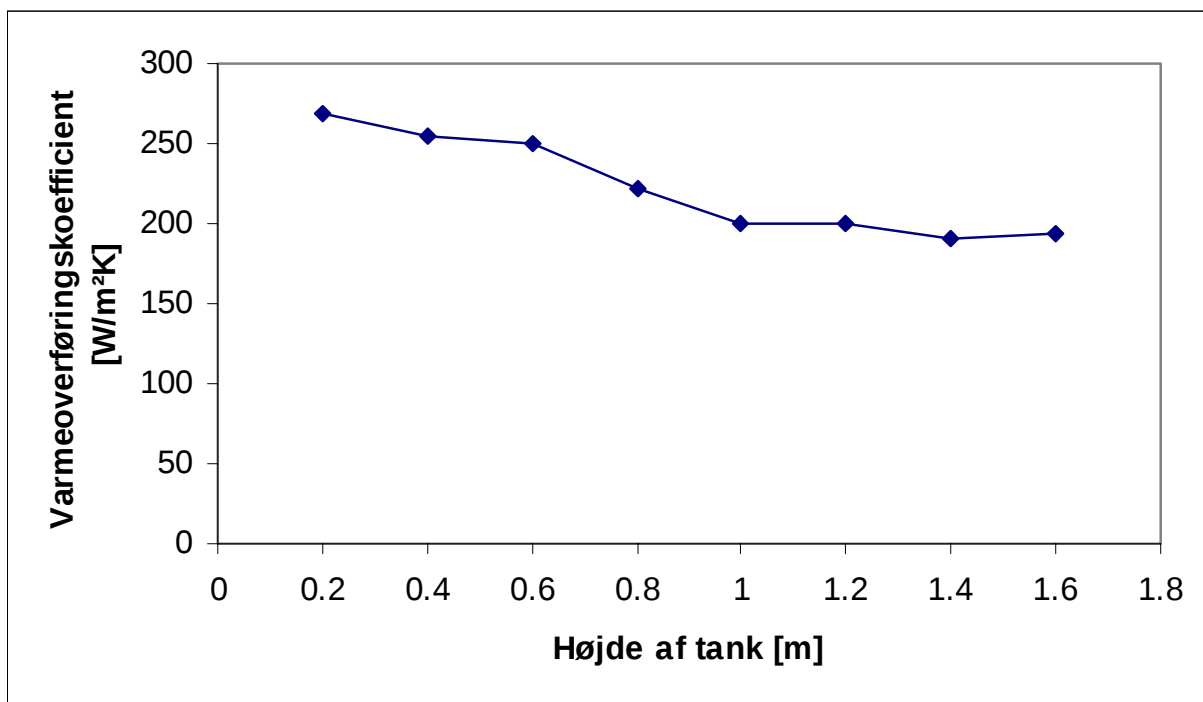
CFD-programmet beregner varmetransporten mellem vand i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvandet, mens varmeoverføringskoefficienten mellem vand i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvand (dvs. ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen) beregnes ved ligning (2).

Figur 67 viser den beregnede varmefflux mellem vandet i rumvarmetanken og tankvæggen mod brugsvandet. En negativ varmefflux på Figur 67 betyder, at varmen overføres fra rumvarmevand til tankvæg mod brugsvand. Det ses, at varmeffluxen ligesom ved driftssituation 2a er størst på den øverste del af tankvæggen udfor indløbet fra kedelkredsen. Det ses endvidere af Figur 67, at i niveauet mellem udløb til rumvarme og indløb fra rumvarme tilføres der varme til rumvarmevand fra varmtvandsbeholderen. Det skyldes, at temperaturen af rumvarmevand i dette niveau er lavere end temperaturen af ydersiden af varmtvandsbeholderen. Den samlede overførte effekt fra rumvarmetanken til varmtvandsbeholderen er ved denne driftssituation $0,2 \text{ kW/m}^2$ svarende til $0,4 \text{ kW}$.



Figur 67: Den beregnede varmekraft mellem rumvarmevand og yderside af varmtvandsbeholder ved driftssituation 2d. Farveskalaen angiver varmekraft i $[W/m^2]$. En negativ varmekraft angiver at varmen overføres fra rumvarmevand til varmtvandsbeholdervæg.

Figur 68 viser den beregnede varmeoverføringskoefficient fra vandet i rumvarmetanken til varmtvandsbeholdervæggen som funktion af højden. Varmeoverføringskoefficienten varierer mellem $191 W/m^2 \cdot K$ og $270 W/m^2 \cdot K$. Det ses dog af Figur 68, at varmeoverføringskoefficienten i toppen af beholderen falder, hvilket skyldes at kedelkredsen ikke er i drift, og derved er der ikke så meget bevægelse i den del af rumvarmetanken. Den gennemsnitlige varmeoverføringskoefficient er ved denne driftssituation beregnet til $223 W/m^2 \cdot K$ og totalt overføres der $410 W/K$.



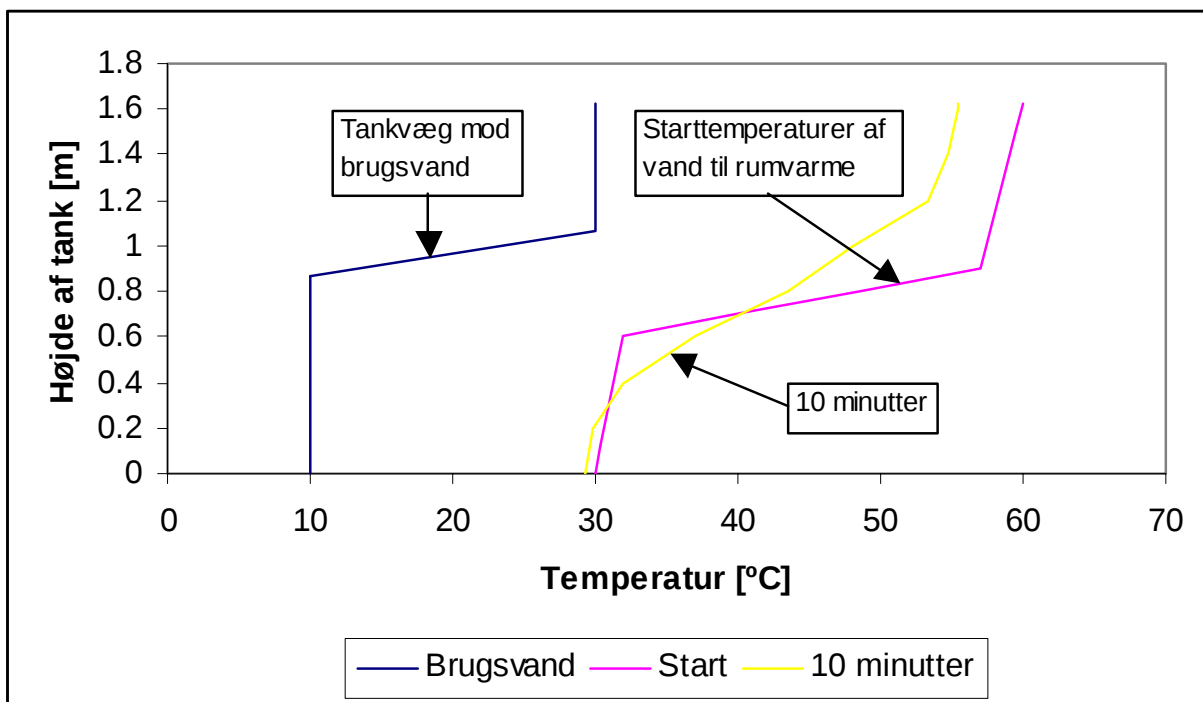
Figur 68: Den beregnede varmeoverføringskoefficient for ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen ved driftssituation 2d som funktion af højden. Varmeoverføringskoefficienten er beregnet hjælp af ligning (2).

3.8 Varmetransport ved varmtvandsbeholder ved stilstand i tank

Varmeoverføringsevnen mellem rumvarmevand og ydersiden af varmtvandsbeholderen er i de foregående afsnit blevet klarlagt for driftssituation 1a-2d, hvor enten kedelkredsen eller rumvarmekredsen eller begge dele er i drift. Varmeoverføringsevnen er også blevet undersøgt ved driftssituationer, hvor hverken kedelkreds eller rumvarmekreds er i drift. Varmeoverføringsevnen er blevet undersøgt både ved en situation, hvor der er stor temperaturforskel mellem vand i rumvarmetanken og ydersiden af varmtvandsbeholderen (driftssituation 1), samt ved en situation hvor der er en lille temperaturforskel (driftssituation 2). De to driftssituationer benævnes henholdsvis 1d og 2e.

3.8.1 Driftssituation 1d

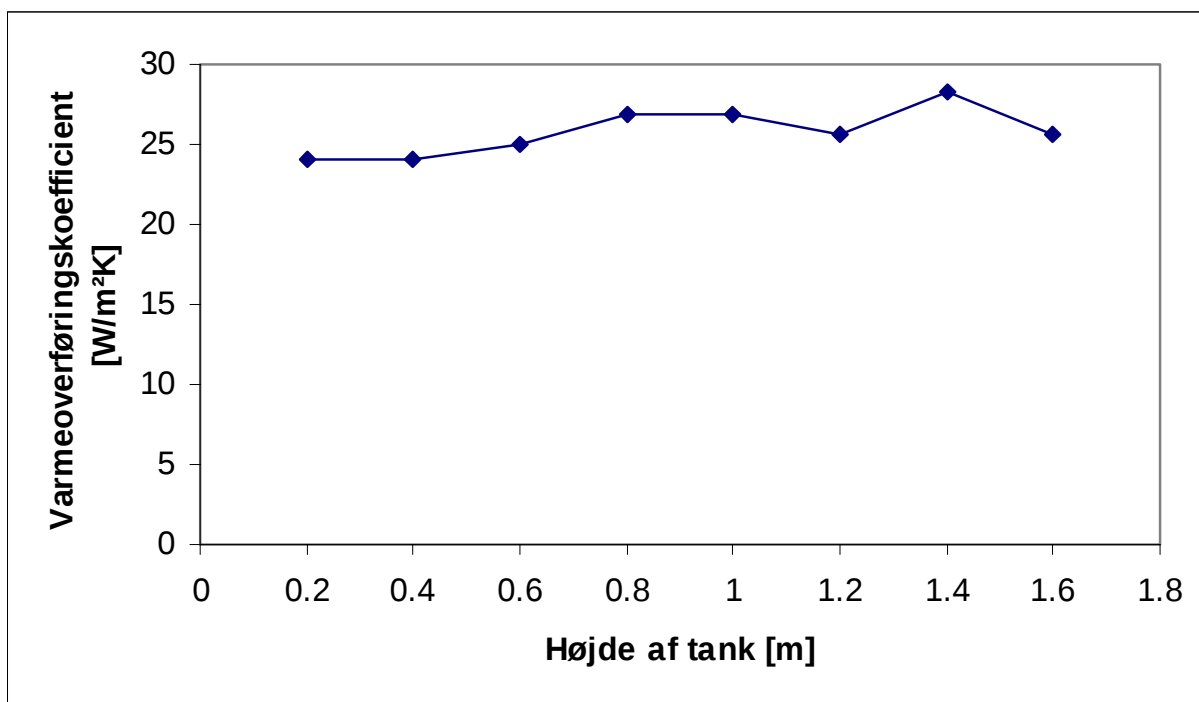
Ved denne undersøgelse benyttes starttemperaturerne i Figur 5, og hverken kedel eller rumvarmekreds er i drift. Figur 69 viser temperaturlagdelingen ved simuleringens start og efter 10 minutter. Det ses, at rumvarmevandet i toppen af tanken bliver afkølet, mens temperaturen stiger lidt i et lille område midt i tanken.



Figur 69: Beregnede temperaturer i rumvarmetanken ved start og efter 10 minutter ved driftssituation 1d.

Figur 70 viser den beregnede varmeoverføringskoefficient fra vandet i rumvarmetanken til varmtvandsbeholdervæggen som funktion af højden efter 10 minutter. Det ses, at varmeoverføringskoefficienten er meget lille, og den varierer mellem $24 \text{ W/m}^2\text{K}$ og $28 \text{ W/m}^2\text{K}$. Den gennemsnitlige varmeoverføringskoefficient er ved denne driftssituation beregnet til $26 \text{ W/m}^2\text{K}$ og totalt overføres der 47 W/K .

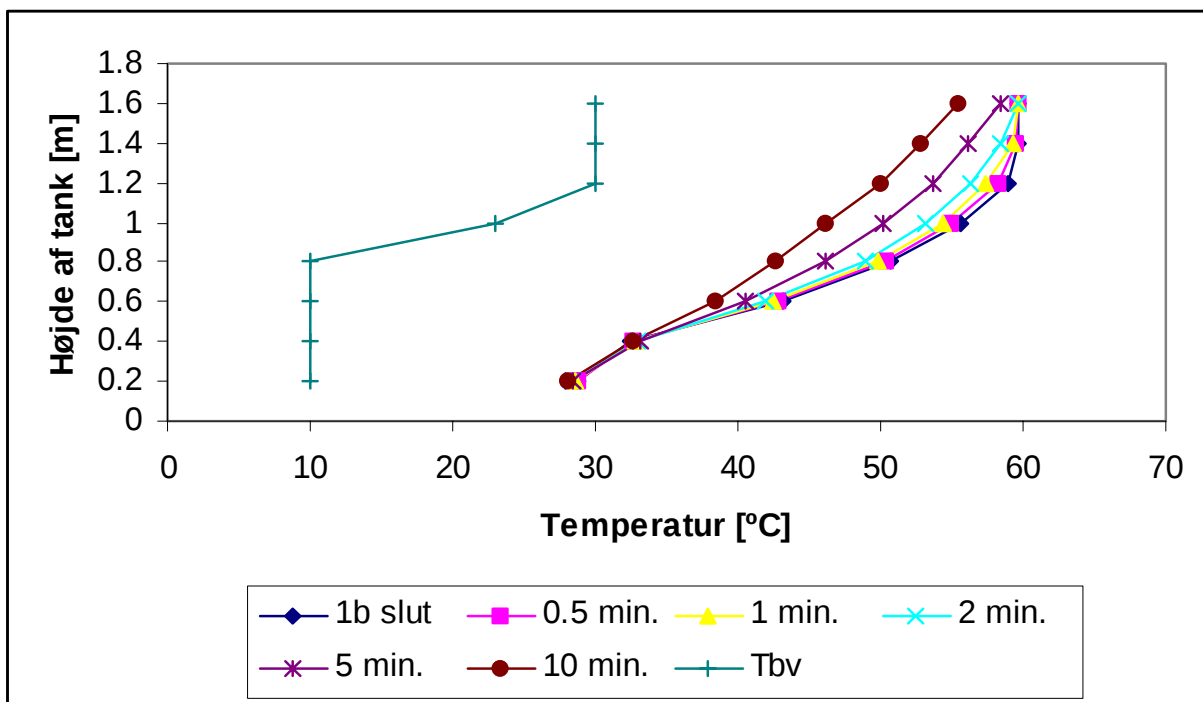
De beregnede varmeoverføringskoefficienter i Figur 70 er beregnet ved hjælp af ligning (2), der blandt andet er baseret på middeltemperaturen af rumvarmevandet i de respektive højdeniveauer. Ved driftssituation 1d er bevægelserne af vandet i tanken meget små, og det betyder at det termiske grænselag tæt på varmtvandsbeholderen bliver tykkere end ved driftssituation 1a-1c. Tykkelsen af det termiske grænselag har indflydelse på middeltemperaturen i de respektive højdeniveauer, og derfor er middeltemperaturen af rumvarmevandet i de respektive højdeniveauer i højere grad end ved driftssituation 1a-1c afhængig af forskellen i diameter mellem yderside af varmtvandsbeholder og inderside af rumvarmetank. Det gør, at de beregnede varmeoverføringsevner i Figur 70 er mere følsomme overfor en ændring af beholderdiameter end de beregnede varmeoverføringsevner ved driftssituation 1a-1c.



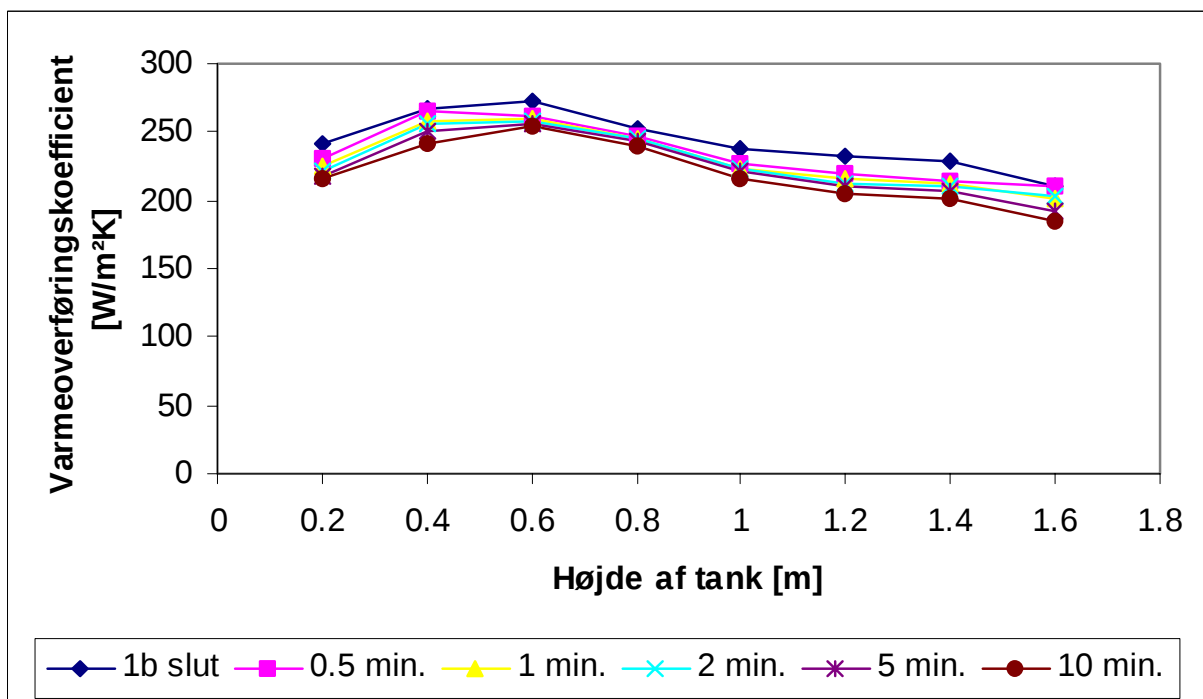
Figur 70: Den beregnede varmeoverføringskoefficient for ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen ved driftssituation 1d som funktion af højden. Varmeoverføringskoefficienten er beregnet ved hjælp af ligning (2).

Ved starten i alle simuleringerne i CFX er vandet i rumvarmetanken helt i ro. Ved driftssituation 1a-1c kommer vandet hurtigt i bevægelse, da kedelkreds og rumvarmekreds er i drift. Det går derimod noget langsommere ved driftssituation 1d, hvor vandets bevægelser kun styres af temperaturforskelle. For at undersøge varmeoverføringsevnen i en situation, hvor rumvarmevandet er i bevægelse, men hvor hverken kedelkreds eller rumvarmekreds er i drift, er simuleringen af driftssituation 1b fortsat i 10 minutter uden kedelkreds og rumvarmekreds i drift.

Figur 71 viser temperaturlagdelingen i rumvarmetanken henholdsvis 0,5 minut, 1 minut, 2 minutter, 5 minutter og 10 minutter efter, at kedelkreds og rumvarmekreds er stoppet. Det ses, hvorledes rumvarmevandet specielt i toppen afkøles. Figur 72 viser hvorledes varmeoverføringskoefficienten ændrer sig med tiden. Det ses, at varmeoverføringskoefficienten langsomt falder, men at den er meget større end i Figur 70, da vandet i rumvarmetanken er i bevægelse.



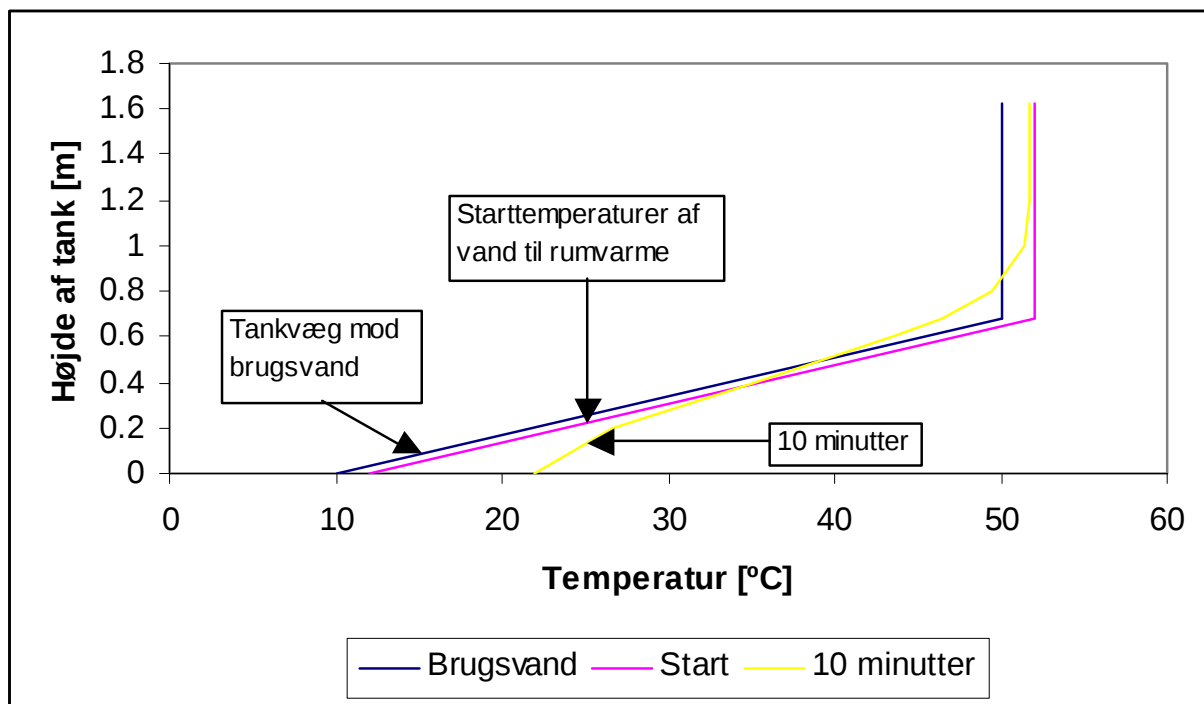
Figur 71: Beregnede temperaturer i rumvarmetanken efter stop for kedelkreds og rumvarmekreds efter driftssituation 1b.



Figur 72: Den beregnede varmeoverføringskoefficient for ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen efter stop for kedelkreds og rumvarmekreds efter driftssituation 1b.

3.8.2 Driftssituation 2e

Ved denne undersøgelse benyttes starttemperaturerne i Figur 6, og hverken kedel eller rumvarmekreds er i drift. Figur 73 viser temperaturlagdelingen ved simuleringens start og efter 10 minutter. Det ses, at rumvarmevandet i toppen af tanken kun bliver afkølet en lille smule, mens temperaturen falder lidt mere i den midterste del af tanken.

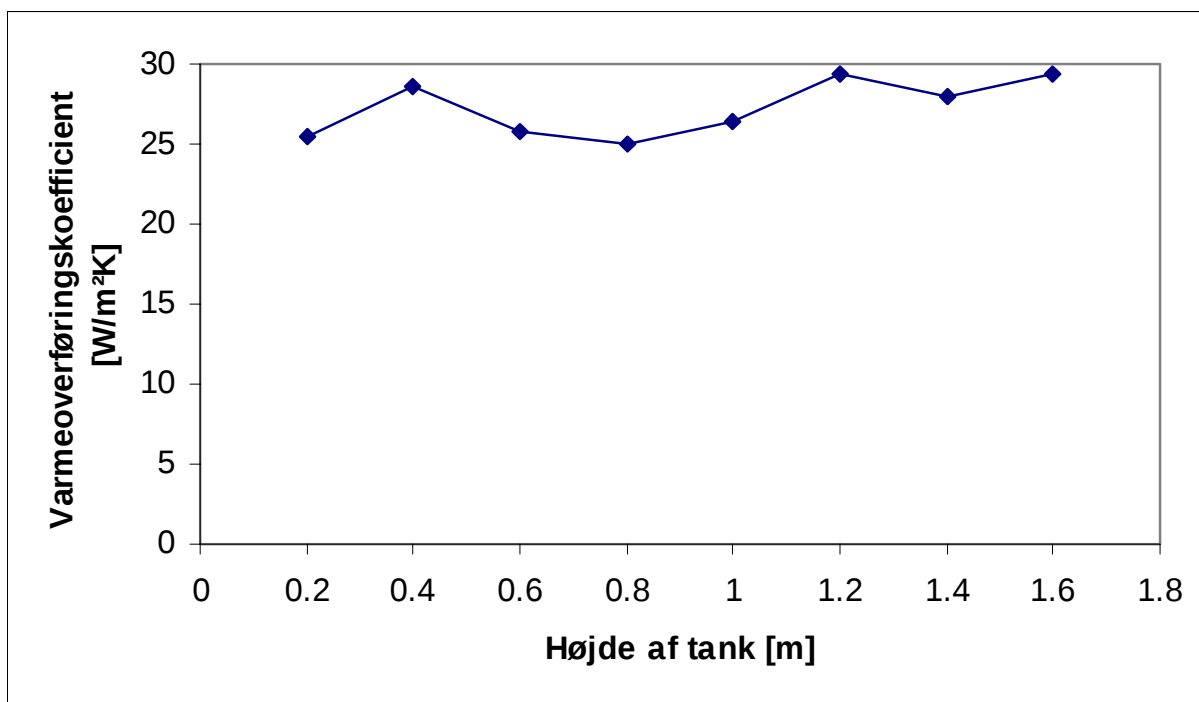


Figur 73: Beregnede temperaturer i rumvarmetanken ved start og efter 10 minutter ved driftssituation 2e.

Figur 74 viser den beregnede varmeoverføringskoefficient fra vandet i rumvarmetanken til varmtvandsbeholdervæggen som funktion af højden efter 10 minutter. Det ses, at varmeoverføringskoefficienten er meget lille, og den varierer mellem $23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ og $29 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Den gennemsnitlige varmeoverføringskoefficient er ved denne driftssituation beregnet til $26 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ og totalt overføres der 48 W/K .

De beregnede varmeoverføringskoefficienter i Figur 74 er beregnet ved hjælp af ligning (2), der blandt andet er baseret på middeltemperaturen af rumvarmevandet i de respektive højdeniveauer. Ved driftssituation 2e er bevægelserne af vandet i tanken meget små, og det betyder at det termiske grænselag tæt på varmtvandsbeholderen bliver tykkere end ved driftssituation 2a-2d. Tykkelsen af det termiske grænselag har indflydelse på middeltemperaturen i de respektive højdeniveauer, og derfor er middeltemperaturen af rumvarmevandet i de respektive højdeniveauer i højere grad end ved driftssituation 2a-2d afhængig af forskellen i diameter mellem yderside af varmtvandsbeholder og inderside af rumvarmetank. Det gør, at de beregnede varmeoverføringskoefficienter i Figur 74 er mere følsomme overfor en ændring af beholderdiameter end de beregnede varmeoverføringskoefficienter ved driftssituation 2a-2d. Da, de beregnede varmeoverføringskoefficienter ved driftssituation 2e er stort set identiske med de beregnede varmeoverføringskoefficienter ved driftssituation 1d, betyder det, at varmeoverføringskoefficienten

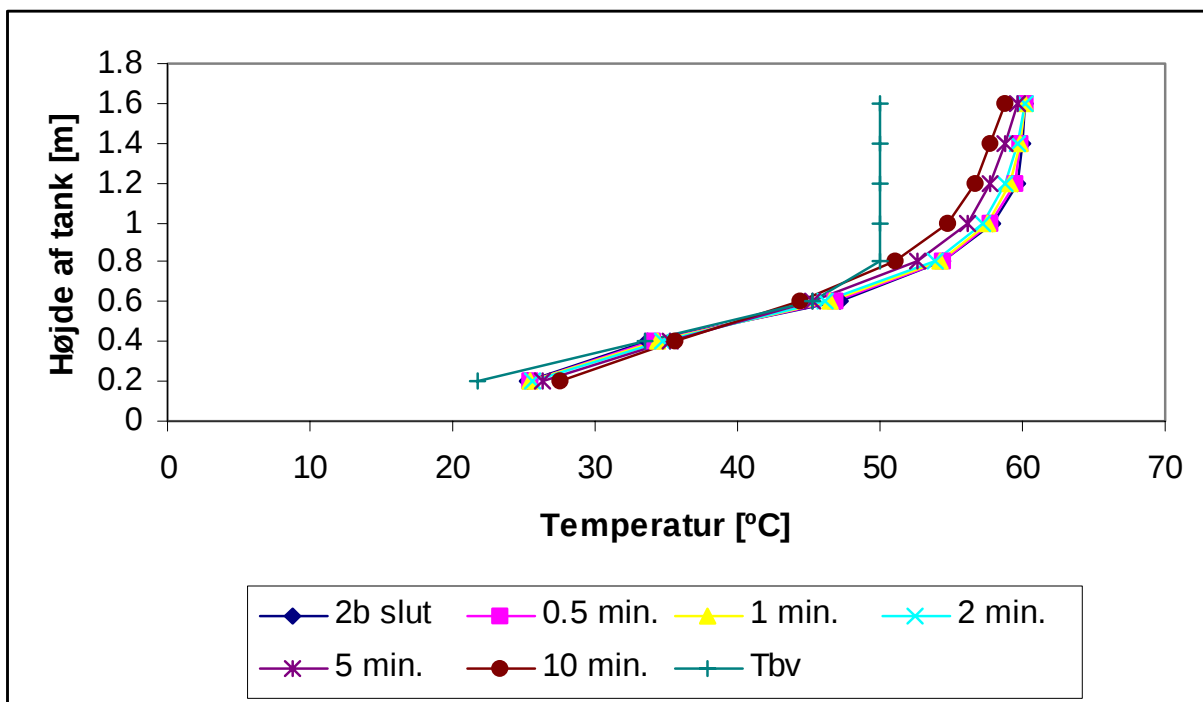
ved stilstand i tanken stort set er uafhængig af temperaturforskellen mellem rumvarmevand og varmtvandsbeholdervæg.



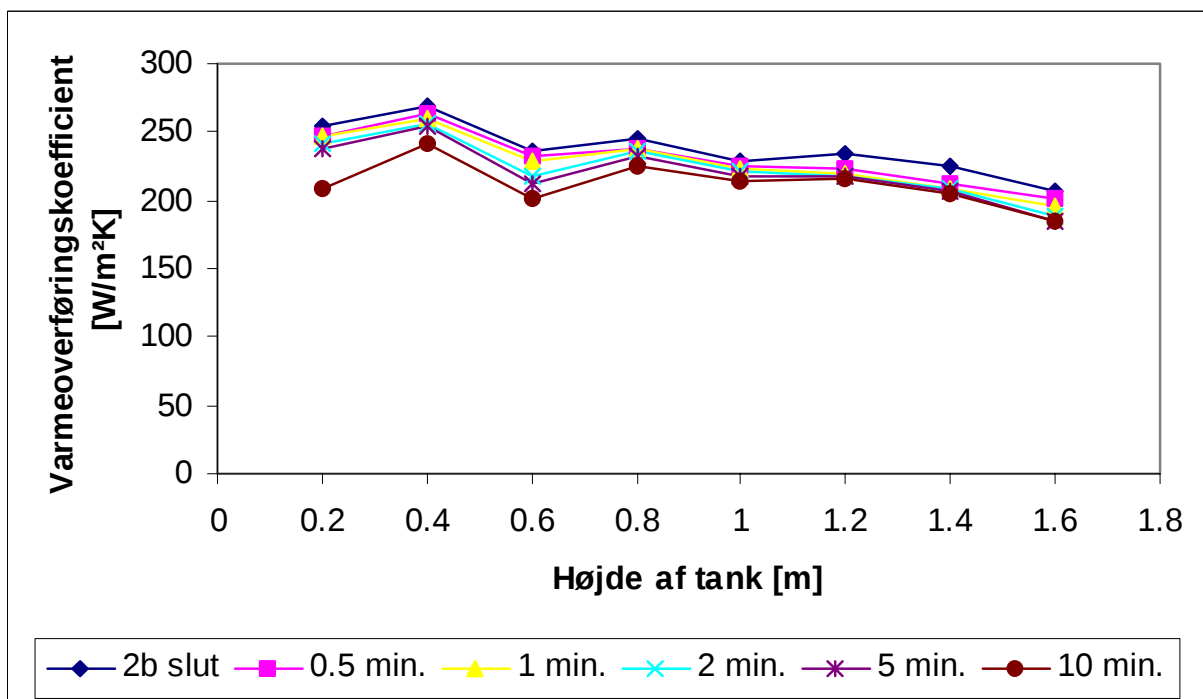
Figur 74: Den beregnede varmeoverføringskoefficient for ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen ved driftssituation 2e som funktion af højden. Varmeoverføringskoefficienten er beregnet ved hjælp af ligning (2).

Ved starten i alle simuleringerne i CFX er vandet i rumvarmetanken helt i ro. Ved driftssituation 2a-2d kommer vandet hurtigt i bevægelse, da kedelkreds og rumvarmekreds er i drift. Det går derimod noget langsommere ved driftssituation 2e, hvor vandets bevægelser kun styres af temperaturforskelle. For at undersøge varmeoverføringskoefficienten i en situation, hvor rumvarmevandet er i bevægelse, men hvor hverken kedelkreds eller rumvarmekreds er i drift, er simuleringen af driftssituation 2b fortsat i 10 minutter uden kedelkreds og rumvarmekreds i drift.

Figur 75 viser temperaturlagdelingen i rumvarmetanken henholdsvis 0,5 minut, 1 minut, 2 minutter, 5 minutter og 10 minutter efter, at kedelkreds og rumvarmekreds er stoppet. Det ses, hvorledes rumvarmevandet specielt i toppen afkøles. Figur 76 viser hvorledes varmeoverføringskoefficienten ændrer sig med tiden. Det ses, at varmeoverføringskoefficienten langsomt falder, men at den er meget større end i Figur 74, da vandet i rumvarmetanken er i bevægelse.



Figur 75: Beregnede temperaturer i rumvarmetanken efter stop for kedelkreds og rumvarmekreds efter driftssituation 2b.



Figur 76: Den beregnede varmeoverføringskoefficient for ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen efter stop for kedelkreds og rumvarmekreds efter driftssituation 2b.

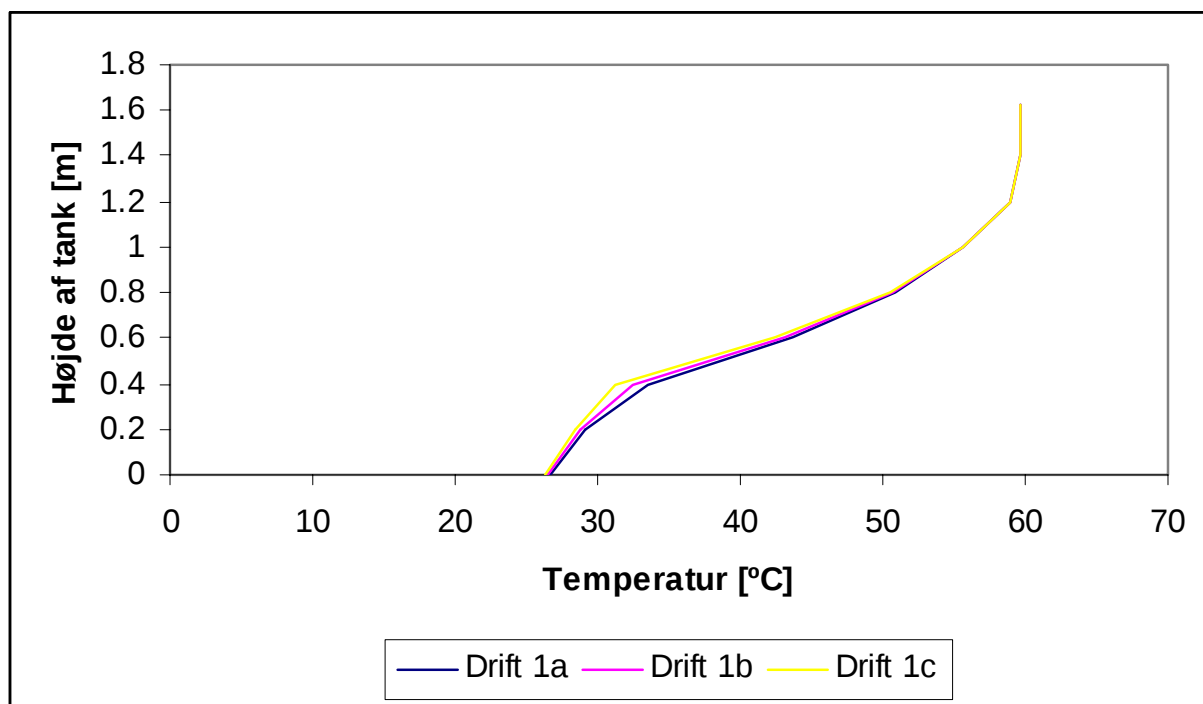
3.9 Sammenfatning og sammenligning af resultater

Resultaterne fra simuleringen af de enkelte driftssituationer er blevet gennemgået i afsnit 3.1 - 3.8. I det følgende vil der blive givet en kort sammenfatning af resultaterne samt en sammenligning mellem de enkelte driftssituationer.

3.9.1 Temperaturlagdeling

Ved driftssituation 1a-1c var der ved starten af driftsperioderne en stor temperaturforskel mellem ydersiden af varmtvandsbeholderen og vandet i rumvarmetanken svarende til, at der lige var tappet en stor mængde varmt brugsvand.

Ved driftssituation 1a var det kun kedlen, der var i drift. Kedelkredsen havde en indløbstemperatur til rumvarmetanken på 65°C og flowet i kedelkredsen var 10 l/min. Ved driftssituation 1b var både kedelkreds og rumvarmekreds i drift. Kedelkredsen havde en indløbstemperatur til rumvarmetanken på 65°C og flowet i kedelkredsen var 10 l/min. Rumvarmekredsen havde en returtemperatur til rumvarmetanken på 20,5°C og flowet i rumvarmekredsen var 0,7 l/min. Ved driftssituation 1c var både kedelkreds og rumvarmekreds i drift. Kedelkredsen havde en indløbstemperatur til rumvarmetanken på 65°C og flowet i kedelkredsen var 10 l/min. Rumvarmekredsen havde en returtemperatur til rumvarmetanken på 20,5°C og flowet i rumvarmekredsen var 1,4 l/min.

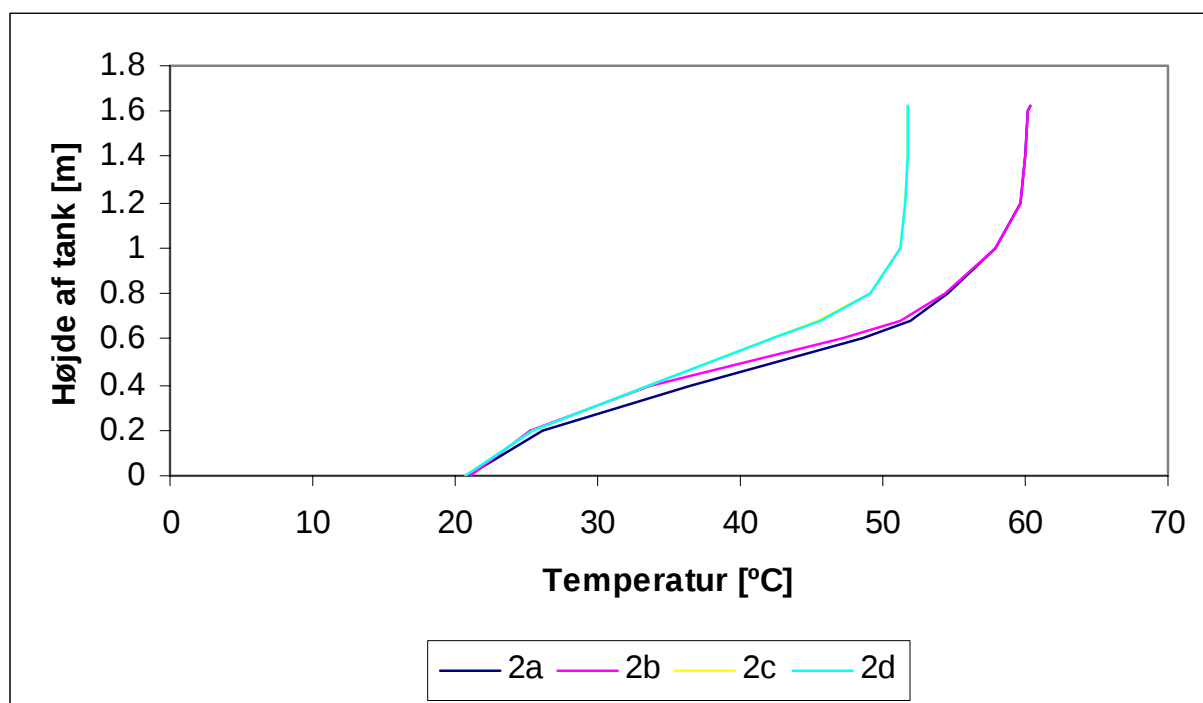


Figur 77: Temperaturlagdeling i rumvarmetanken efter 10 minutters drift for driftssituation 1a, 1b og 1c.

Figur 77 viser temperaturlagdelingen i rumvarmetanken efter simulering af 10 minutters drift for henholdsvis driftssituation 1a, 1b og 1c. Det ses, at der er minimal forskel på temperaturprofilerne for de tre driftssituationer, hvilket viser, at ved disse driftssituationer betyder det stort set ikke noget for temperaturlagdelingen om rumvarmekredsen er i drift eller ej.

Ved driftssituation 2a-2d var der ved starten af driftsperioderne en lille temperaturforskel mellem ydersiden af varmtvandsbeholderen og vandet i rumvarmetanken svarende til, at både brugsvand og rumvarmevand var varmet op.

Ved driftssituation 2a var det kun kedlen, der var i drift. Kedelkredsen havde en indløbstemperatur til rumvarmetanken på 65°C og flowet i kedelkredsen var 10 l/min. Ved driftssituation 2b var både kedelkreds og rumvarmekreds i drift. Kedelkredsen havde en indløbstemperatur til rumvarmetanken på 65°C og flowet i kedelkredsen var 10 l/min. Rumvarmekredsen havde en returtemperatur til rumvarmetanken på 20,5°C og flowet i rumvarmekredsen var 1,4 l/min. Ved driftssituation 2c var det kun rumvarmekredsen, der var i drift. Rumvarmekredsen havde en returtemperatur til rumvarmetanken på 20,5°C og flowet i rumvarmekredsen var 1,4 l/min. Ved driftssituation 2d var det kun rumvarmekredsen, der var i drift. Rumvarmekredsen havde en returtemperatur til rumvarmetanken på 30°C og flowet i rumvarmekredsen var 1,4 l/min.



Figur 78: Temperaturlagdeling i rumvarmetanken efter 10 minutters drift for driftssituation 2a, 2b, 2c og 2d.

Figur 78 viser temperaturlagdelingen i rumvarmetanken efter simulering af 10 minutters drift for henholdsvis driftssituation 2a, 2b, 2c og 2d. Temperaturprofilet ved henholdsvis driftssituation 2a og 2b er meget ens. Der er en lille afvigelse omkring indløbet fra rumvarmekredsen, og det skyldes, at rumvarmekredsen er i drift i driftssituation 2b i modsætning til driftssituation 2a. Temperaturprofilerne ved driftssituation 2c og 2d afviger en del fra temperaturprofilerne ved driftssituation 2a og 2b, hvilket skyldes at kedelkredsen ikke er i drift ved hverken driftssituation 2c eller 2d. Til gengæld er temperaturprofilerne meget ens for driftssituation 2c og 2d. Forskellen på de to driftssituationer er, at indløbstemperaturen fra rumvarmekredsen er hævet fra 20,5°C ved driftssituation 2c til 30°C ved driftssituation 2d. Forskellen mellem den bortførte energi til rumvarmekredsen i de 10 minutter er også kun 0,15 kWh for de to driftssituationer.

Analysen af de 7 driftssituationer viser, at indløbet fra rumvarmekredsen ikke giver anledning til nævneværdig omrøring, da temperaturlagdelingen i rumvarmetanken ikke ændres ret meget når rumvarmekredsen er i drift i forhold til, når den ikke er det. Der er dog 2 forhold, som man skal være opmærksom på, før man drager nogle konklusioner på dette. For det første er de undersøgte driftssituationer kun på 10 minutter. 10 minutter er forholdsvis lang tid med kedlen i drift, men det er en kort periode med rumvarmekredsen i drift. Derfor vil en længere driftsperiode for rumvarmekredsen måske resultere i større omrøring. Det andet forhold, der kan spille ind på resultaterne er, at temperaturen af ydersiden af varmtvandsbeholderen som funktion af højdeniveau er konstant i beregningerne, så den ikke kan ændre sig i løbet af driftsperioderne. Dette er ikke realistisk, da temperaturen vil ændre sig som følge af ændringen af rumvarmevands temperatur og på grund af varmetransporten mellem rumvarmevand og varmtvandsbeholdervæggen. Derudover er der i simuleringerne blevet benyttet lave flow på henholdsvis 0,7 l/min og 1,4 l/min i rumvarmekredsen. Et større flow vil betyde omrøring, og i [1] er der foretaget eksperimentelle undersøgelser med et flow i rumvarmekredsen på 9 l/min, hvor der var betydelig omrøring.

3.9.2 Strømningsforhold

Indløb fra kedelkreds:

Strømningerne omkring indløbet fra kedelkredsen viste sig at være uafhængige af temperaturforskellene mellem indløbsvandet og vandet i rumvarmetanken udfor indløbet. Ved alle driftssituationer, hvor kedelkredsen er i drift, kommer indløbsstrømmen ind og rammer tankvæggen mod brugsvandet og vandet strømmer derefter rundt tæt langs tankvæggen. Der er en lille recirkulationen på hver side af indløbsstrømmen. Strømningen er ikke fuldstændig symmetrisk rundt om tankvæggen mod brugsvandet. Det skyldes at udløbet til kedelkredsen er drejet 60° i forhold til indløbet fra kedelkredsen.

I det lodrette plan strømmer vandet også vandret ind og rammer tankvæggen mod brugsvandet, herfra er der noget der strømmer ned langs tankvæggen og højst sandsynligt ned mod udløbet til kedelkredsen, mens der også er noget, der strømmer op langs tankvæggen mod toppen af beholderen. Der er en nedadrettet strømning langs tankvæggen mod brugsvandet i siden modsat indløbet fra kedelkredsen.

Udløb til kedelkreds:

I det vandrette plan udfor udløbet til kedelkredsen er stort set al strømningen i det vandrette plan drejet over mod udløbet. Det er dog kun tæt på udløbet, at strømningen har en vis størrelse, de øvrige strømninger er meget små. I det lodrette plan er det kun tæt på udløbet, at strømningerne bliver påvirket af udløbet.

Udløb til rumvarmekreds:

Strømningerne omkring udløbet til rumvarmekredsen ser ud stort set som udfor udløbet til kedelkredsen, dog med den forskel at flowet og dermed hastighederne i rumvarmekredsen er noget mindre. Når kedelkredsen er i drift, så er der endvidere en nedadrettet strømning tæt omkring varmtvandsbeholderen.

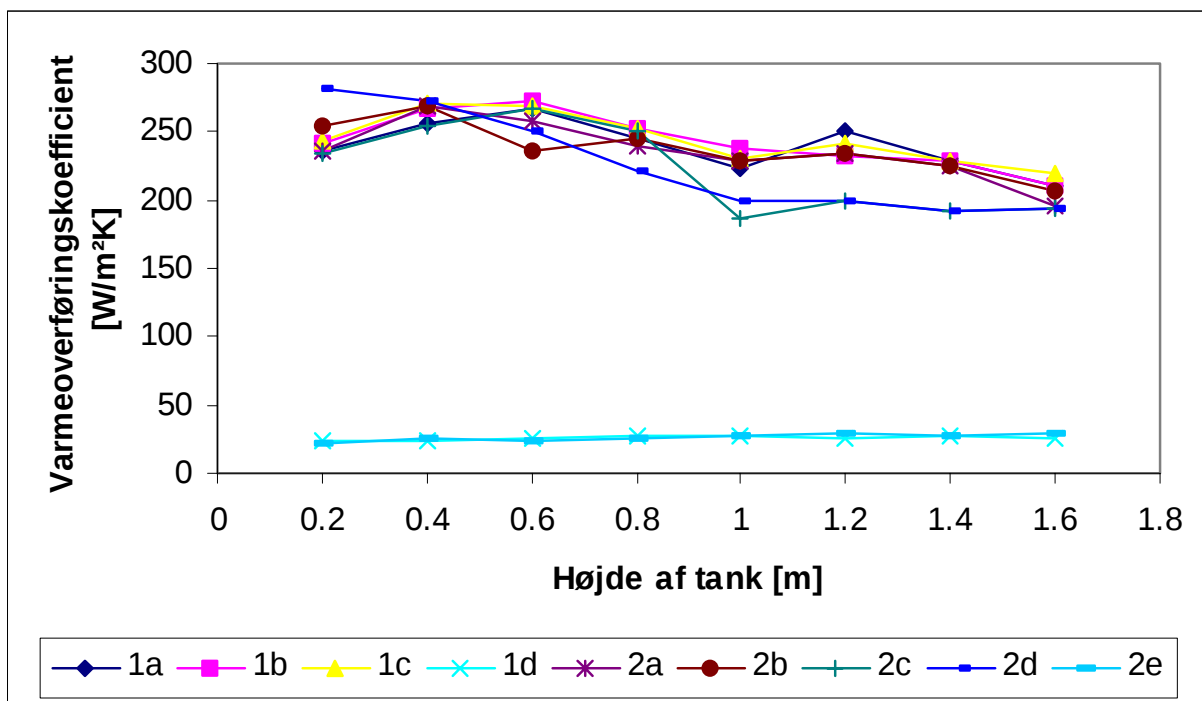
Indløb fra rumvarmekreds:

Flowet i rumvarmekredsen har ved de undersøgte driftssituationer ikke været særlig stort. Ved det mindste flow på 0,7 l/min strømmer det kolde indløbsvand fra rumvarmekredsen hurtigt nedad i rumvarmetanken på grund af temperaturforskellene. Ved et flow på 1,4 l/min kommer indløbsstrømmen lidt længere ind i rumvarmetanken inden det strømmer nedad mod et lavere

temperaturniveau. Ved et flow på 1,4 l/min og en indløbstemperatur på 30°C (i stedet for 20,5°C) kommer indløbsstrømmen endnu længere ind i rumvarmetanken, en lille del når helt ind til varmtvandsbeholderen. Den del, der strømmer nedad i tanken, kommer ikke så langt ned, da temperaturen af strømmen er højere, og derved når det tidligere et passende temperaturniveau.

3.9.3 Varmeroverføringskoefficient for yderside af varmtvandsbeholder

Varmeroverføringskoefficienten for ydersiden af varmtvandsbeholderen er blevet beregnet ved hjælp af ligning (2). Figur 79 viser de beregnede varmeroverføringskoefficienter som funktion af højdeniveau i tanken for driftssituationerne 1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 2c, 2d samt for driftssituationerne 1d og 2e hvor der er stilstand i rumvarmetanken.



Figur 79: Den beregnede varmeroverføringskoefficient for ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen som funktion af højden ved driftssituation 1a, 1b, 1c og 1d. Varmeroverføringskoefficienten er beregnet hjælp af ligning (2).

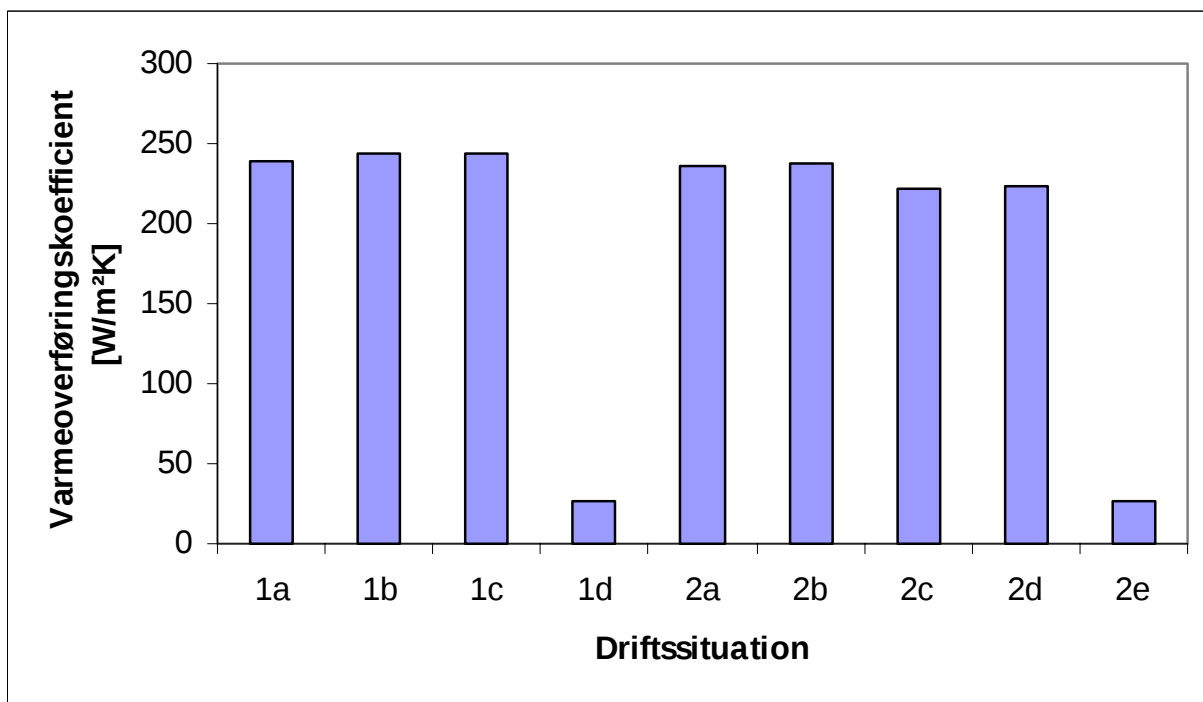
Af Figur 79 fremgår det, at der ikke er noget entydigt billede af varmeroverføringskoefficienten ved de forskellige driftssituationer. Der er dog to ting, der falder i øjnene. Den første er, at varmeroverføringskoefficienten for toppen af varmtvandsbeholderen (over 1 m fra bunden) falder når kedelkredsen ikke er i drift. Den anden ting er, at varmeroverføringskoefficienten falder drastisk til omkring 25 W/m²K, når der er stilstand i rumvarmetanken. De meget lave varmeroverføringskoefficienter forekommer dog kun i tilfælde, hvor der stort set ingen bevægelser er i rumvarmetanken. I perioder kort tid efter, at kedelkreds og rumvarmekreds har været i drift, er varmeroverføringskoefficienten næsten ligeså stor som, når de er i drift. Varmeroverføringskoefficienten aftager i disse tilfælde langsomt efterhånden, som bevægelserne i rumvarmetanken aftager, hvilket fremgår af Figur 72 og Figur 76.

På baggrund af Figur 79 kan varmeoverføringskoefficienten for ydersiden af varmtvandsbeholdervæggen stilles op på følgende måde for de forskellige driftsforhold. Varmtvandsbeholderen deles ind i en nedre del og en øvre del. Den nedre del er den slanke del af varmtvandsbeholderen fra 0 m til 0,925 m, hvor beholderen udvider sig. Den øvre del er hvor varmtvandsbeholderen har udvidet sig fra 0,925 m op til 1,625 m, som er toppen af beholderen. Driftsforholdene er så inddelt i 4 kategorier: 1) kun kedel i drift, 2) både kedel og rumvarmekreds i drift, 3) kun rumvarmekreds i drift og 4) ingen af delene i drift. Tabel 6 viser varmeoverføringskoefficienten ved de 4 driftsforhold.

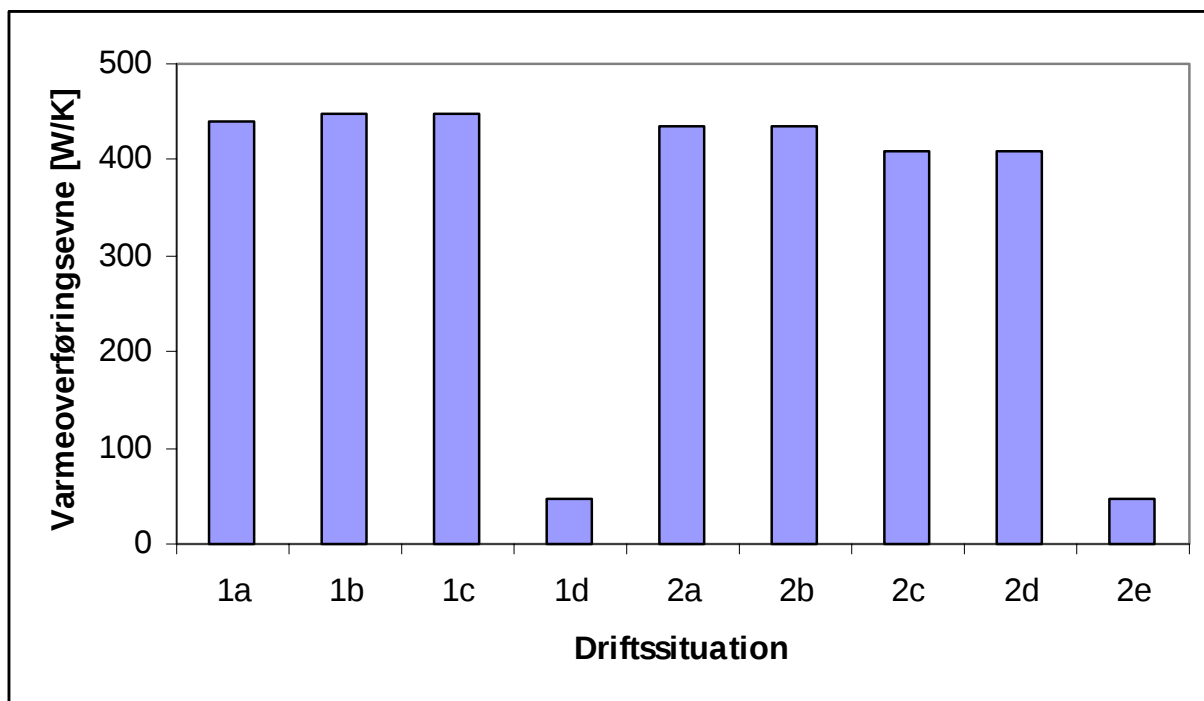
	Varmeoverføringskoefficienten i øvre del [W/m ² ·K]	Varmeoverføringskoefficienten i nedre del [W/m ² ·K]
Kun kedel i drift	196-250	236-269
Kedel og rumvarmekreds i drift	205-241	236-271
Kun rumvarmekreds i drift	188-200	222-282
Ingen af delene i drift	26-29	23-27

Tabel 6: Varmeoverføringskoefficienten for ydersiden af varmtvandsbeholderen ved 4 driftsforhold. Den "nedre del" af varmtvandsbeholderen er den nederste slanke del indtil beholderen udvider sig. Den "øvre del" af varmtvandsbeholderen er fra den har udvidet sig og op til toppen.

Akkutanken er blevet undersøgt eksperimentelt i [1], og her er den totale varmeoverføringsevne for hele varmtvandsbeholderen blevet bestemt til mellem 200 W/K og 350 W/K. 200 W/K blev bestemt ved lave temperaturer på omkring 18°C i rumvarmetanken, mens 350 W/K blev bestemt ved høje temperaturer på omkring 53°C i rumvarmetanken. Figur 80 viser en oversigt over den beregnede gennemsnitlige varmeoverføringskoefficient for ydersiden af varmtvandsbeholderen ved alle driftssituationer efter 10 minutter. Figur 81 viser en oversigt over den beregnede totale varmeoverføringsevne for ydersiden af varmtvandsbeholderen ved alle driftssituationer. Det ses af Figur 81, at den totale varmeoverføringsevne for ydersiden af varmtvandsbeholderen ved de driftssituationer, hvor der er bevægelse i rumvarmetanken, er større end den eksperimentelt fundne varmeoverføringsevne i [1]. Det skyldes, at den beregnede varmeoverføringsevne kun er for ydersiden af varmtvandsbeholderen, mens den eksperimentelt fundne varmeoverføringsevne er for varmetransport hele vejen igennem varmtvandsbeholdervæggen.



Figur 80: Den beregnede gennemsnitlige varmeoverføringskoefficient for ydersiden af varmtvandsbeholderen ved alle driftssituationer.



Figur 81: Den beregnede totale varmeoverføringsevne for ydersiden af varmtvandsbeholderen ved alle driftssituationer.

4. Konklusion

En solvarmebeholder beregnet til et solvarmeanlæg til kombineret brugsvands- og rumopvarmning er blevet undersøgt teoretisk. Den undersøgte solvarmebeholder er en akkutank fra Batec A/S. De teoretiske undersøgelser er foretaget ved hjælp af et CFD-program, CFX 5.4.

Der er opbygget en model af akkutanken fra Batec A/S i CFD-programmet. Den opbyggede model indeholder nogle forsimplinger i forhold til den virkelige akkutank. CFD-modellen indeholder ikke nogen solvarmeveksler, således at der kun kan simuleres perioder, hvor solfangeren ikke er i drift. Derudover simuleres selve brugsvandet ikke, i stedet indeholder modellen væggen af varmtvandsbeholderen, der har en fastholdt konstant temperatur under simuleringen, således at varmetransporten til brugsvandet kan beregnes.

De termiske og strømningsmæssige forhold i akkutanken er blevet undersøgt for 7 forskellige driftssituationer. De 7 driftssituationer er sammensat, så der simuleres situationer hvor kun kedelkredsen er i drift, situationer hvor både kedelkreds og rumvarmekreds er i drift samt situationer hvor kun rumvarmekredsen er i drift. Forholdene i akkutanken er simuleret med forskellige flow og temperaturforhold.

Strømningsforholdene omkring indløb fra og udløb til henholdsvis kedelkreds og rumvarmekreds i rumvarmetanken er blevet undersøgt ved de forskellige driftssituationer. Strømningerne omkring udløb til henholdsvis kedelkreds og rumvarmekreds var meget ensartede. I det vandrette plan ud for udløbene var stort set al strømningen drejet over mod udløbet. Det er dog kun tæt på udløbet, at strømningen har en vis størrelse. De øvrige strømninger i det vandrette plan udfor udløbene er meget små. I det lodrette plan er det kun tæt på udløbet, at strømningerne bliver påvirket af udløbet.

Ved indløbet fra kedelkredsen strømmer vandet i det vandrette plan udfor indløbet over og rammer varmtvandsbeholderen, hvorefter det strømmer rundt om denne. I det lodrette plan er der noget af strømningen, der strømmer nedad langs varmtvandsbeholderen efter at have ramt denne. Der er også noget der strømmer op langs varmtvandsbeholderen mod toppen. Ved indløbet fra rumvarmekredsen strømmer vandet hurtigt nedad i rumvarmetanken til det lægger sig i termisk equilibrium. Ved de undersøgte driftssituationer er temperaturen af vandet fra rumvarmekredsen lavere end temperaturen af vandet i rumvarmetanken udfor indløbet. Flowet i rumvarmekredsen var i de undersøgte driftssituationer henholdsvis 0,7 l/min og 1,4 l/min. Ved større flow i rumvarmekredsen kan man risikere, at indløbsstrømmen skaber omrøring og derved ødelægger temperaturlagdelingen i rumvarmetanken. Ved de undersøgte driftssituationer havde driften af rumvarmekredsen minimal indflydelse på temperaturlagdelingen i rumvarmetanken.

Varmeoverføringskoefficienten fra vandet i rumvarmetanken til varmtvandsbeholdervæggen er ved alle driftssituationerne beregnet som funktion af højden af tanken. Varmtvandsbeholdervæggen deles op i en nedre del og en øvre del, hvor den nedre del er den slanke del af varmtvandsbeholderen fra 0 m til 0,925 m, hvor beholderen udvider sig, og den øvre del er hvor varmtvandsbeholderen har udvidet sig fra 0,925 m op til 1,625 m. Varmeoverføringskoefficienten for af den nedre del af varmtvandsbeholdervæggen blev beregnet til at ligge mellem 222 W/m²·K og 282 W/m²·K, både når kedlen er i drift og når den ikke er. For den øvre del blev varmeoverføringskoefficienten beregnet at ligge mellem 196 W/m²·K og 250 W/m²·K, når kedlen er i drift. Når kedlen ikke er i drift er varmeoverføringskoefficienten for den øverste del af ydersiden

af varmtvandsbeholdervæggen beregnet til at ligge mellem $188 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ og $200 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Når hverken kedelkreds eller rumvarmekreds er i drift, og der stort set ingen bevægelser er af vandet i rumvarmetanken, ligger varmeoverføringskoefficienten for den nedre del mellem $23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ og $27 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, mens varmeoverføringskoefficienten for den øvre del ligger mellem $26 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ og $29 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Varmelageret er med hensyn til ydelsen den vigtigste komponent i et solvarmeanlæg, og derfor er det afgørende at kunne forudsige varmelagerets egenskaber i forskellige driftssituationer, således at det kan udformes bedst muligt. Ved hjælp af mere simple modeller end CFD-modeller kan driften på årsbasis simuleres, og for at de simple modeller kan blive så nøjagtige som muligt, kan nogle af resultaterne fra CFD-beregningerne i dette projekt implementeres. Ved at implementere de beregnede varmeoverføringskoefficienter på ydersiden af varmtvandsbeholderen i et simpelt simuleringsprogram, vil det blive muligt at beskrive varmetransporten mellem vand i rumvarmetanken og varmtvandsbeholdervæggen på en detaljeret måde. For at kunne beskrive varmetransporten mellem varmtvandsbeholdervæggen og brugsvandet er det nødvendigt med nye CFD-beregninger for at klarlægge disse forhold. Disse beregninger ligger uden for dette projekts rammer.

Referencer

- [1] Undersøgelse af et solvarmeanlæg til kombineret rum og brugsvandsopvarmning. Louise Jivan Shah. BYG•DTU. Danmarks Tekniske Universitet, 2001.
- [2] CFX 5.4 Flow Solver User Guide. CFX International. Harwell Laboratory, Oxfordshire OX11 0RA, United Kingdom. 2000.
- [3] Convective Heat and Mass Transfer. W.M. Kays og M.E. Crawford. Third Edition. McGraw-Hill. 1993.