

TNO-rapport
TNO-MEP – R 2000/232

TNO Milieu, Energie
en Procesinnovatie

TNO-MEP
Business Park E.T.V.
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

Telefoon: 055 549 34 93
Fax: 055 541 98 37
Internet www.mep.tno.nl

DH-factoren van leidingen voor warmtapwater - validatie en resultaten van dynamische simulatie met CFX-TASCflow

Datum
maart 2001

Auteur(s)
G.J. Afink
R. van der Welle
J. van Wolferen

Projectnummer
31079.01.03

Trefwoorden
DH-factor
warmtapwater
leidingmateriaal
CFX-TASCflow

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

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

© 2000 TNO

Bestemd voor
VROM-DGVH

Samenvatting

In het kader van de doelsubsidie VROM-DGVH is aanvullend, theoretisch onderzoek gedaan naar het opwarmgedrag van uittapleidingen voor warmwater als vervolg op een labonderzoek.

De doelstellingen van dit onderzoek zijn:

- onderzoeken van de mogelijkheid om wachttijden / DH-factoren van warmtapwaterleidingen middels dynamische simulatie te bepalen;
- bepalen van de wachttijd / DH-factor afhankelijk van de gehanteerde nuttige taptemperatuur.

Hiertoe is een dynamisch model opgesteld voor het opwarmgedrag van uittapleidingen voor warmwater. Dit model is gevalideerd door vergelijking met bestaande meetdata. Mede op basis van de resultaten die met dit model verkregen zijn is een alternatieve benadering ontwikkeld voor het bepalen van de wachttijd aan een tap-punt aan het begin van een tapping en voor de verliezen die met het opwarm- en afkoelgedrag van een uittapleiding samenhangen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1. Inleiding	4
1.1 Doelstelling	4
1.2 Motivatie	4
1.3 Werkzaamheden en werkwijze.....	5
2. Modelleren in CFX-TASCflow	6
2.1 Model buis	6
2.2 Invoergegevens	7
2.3 Uitvoer resultaten.....	7
3. Resultaten simulatie en validatie.....	8
3.1 Wijze van vergelijking simulatie - meting.....	8
3.2 Kwalitatieve resultaten	10
3.3 Wachttijden en DH-factoren.....	12
4. Conclusies en aanbevelingen	14
4.1 Conclusies t.a.v. modelleren in CFX-TASCflow	14
4.2 Conclusies t.a.v. DH-factor koper en PPR.....	14
4.3 Conclusies en overwegingen t.a.v. criterium voor wachttijd en DH-factor	14
4.4 Conclusies en overwegingen t.a.v. criterium voor warmteverlies en DH-factor	15
4.5 Aanbevelingen	16
5. Literatuur	17
6. Verantwoording	18

1. Inleiding

1.1 Doelstelling

In het kader van de doelsubsidie VROM-DGVH is aanvullend, theoretisch onderzoek gedaan naar het opwarmgedrag van uittapleidingen voor warmwater als vervolg op een labonderzoek [1].

De doelstellingen van dit onderzoek zijn:

- onderzoeken van de mogelijkheid om wachttijden / DH-factoren van warmtapwaterleidingen middels dynamische simulatie te bepalen;
- bepalen van de wachttijd / DH-factor afhankelijk van de gehanteerde nuttige taptemperatuur.

1.2 Motivatie

De wachttijd aan een tappunt voor warmwater is zowel vanuit comfort als energetische overwegingen van belang. Dit geldt niet alleen voor de bewoner/gebruiker maar ook vanuit de wetgeving (bouwbesluit en EPN) en uiteenlopende regelgeving worden eisen gesteld aan de maximale wachttijd.

De totale wachttijd aan een tappunt wordt bepaald door de wachttijd van het toestel en die van de leiding. In dit onderzoek wordt uitsluitend ingegaan op de wachttijd van leidingen.

Als warm water getapt wordt zal na het verstrijken van de verdrijftijd de temperatuur aan het tappunt stijgen. Dit gebeurt met enige vertraging omdat tevens het leidingmateriaal moet worden opgewarmd. De verhouding tussen wachttijd en verdrijftijd wordt gegeven door de DH-factor. Traditioneel wordt de wachttijd gegeven als de tijd die nodig is om de eindtemperatuur aan het tappunt te bereiken. In het verleden is voor dunne koperen leidingen in opbouw een DH-factor bepaald van 1.66, afgerond op 1.7.

De volgende ontwikkelingen hebben hernieuwde interesse in de DH-factor veroorzaakt:

- introductie kunststof leidingen;
- inbouw leidingen;
- hogere comfort-eisen;
- hogere energetische eisen (aanscherping EPC).

In opdracht van de VNI heeft TNO-MEP metingen verricht aan het temperatuurverloop in uiteenlopende buizen en op basis hiervan de DH-factor bepaald [1]. De resultaten hiervan zijn vergeleken met de resultaten van een eenvoudig model.

Omdat de overeenkomst tussen het eenvoudige model en de metingen onbevredigend was, met name voor kunststof leidingen, is door TNO-MEP aanvullend theoretisch onderzoek gedaan.

1.3 Werkzaamheden en werkwijze

De volgende werkzaamheden zijn uitgevoerd:

- Modelleren en simulatie van twee leidingen (koper 12/10 en PPR 16/10) van 10 meter lengte met één debiet (5 l/min) met behulp van het Computational Fluid Dynamics pakket CFX-TASCflow
- Als criterium voor het bereiken van de nuttige taptemperatuur worden in dit onderzoek verschillende percentages van de maximale temperatuurverhoging van 40°C aan het tappunt genomen van 10, 30, 50, 70 en 90%.
- Validatie door vergelijking met meetresultaten uit het project dat is uitgevoerd voor VNI [1].

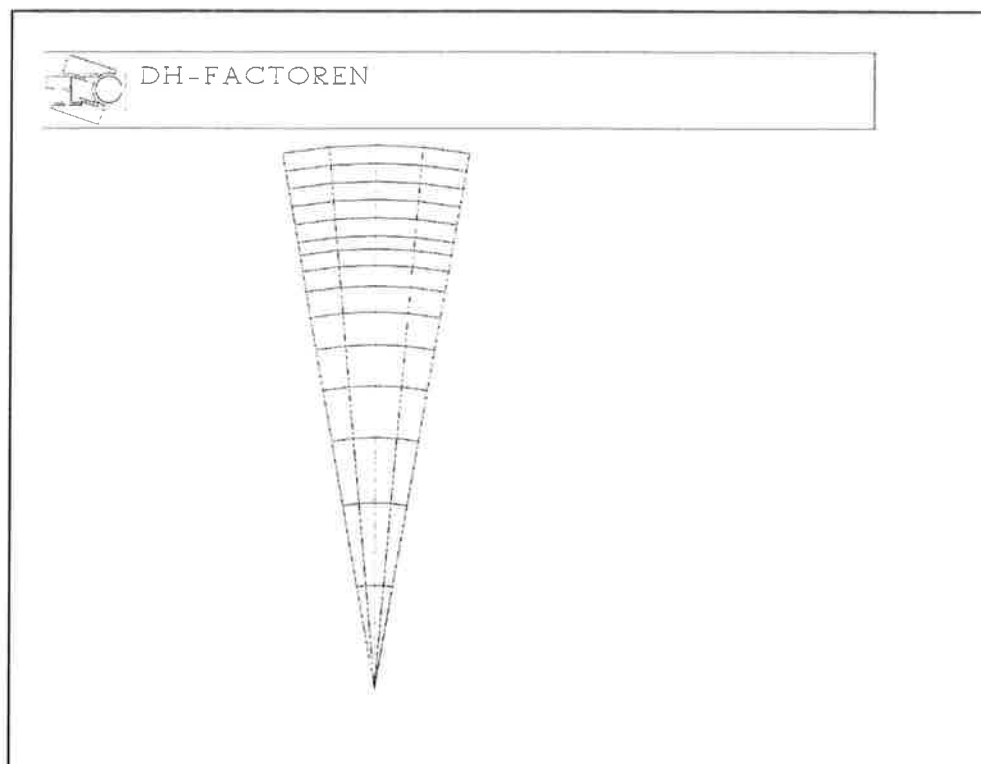
De resultaten worden hieronder gepresenteerd.

2. Modelling in CFX-TASCflow

2.1 Model buis

De modellering is uitgevoerd met het bij TNO-MEP beschikbare Computational Fluid Dynamics pakket CFX-TASCflow [1]. De stroming in een pijp en de warmteoverdracht door de pijp wand worden beschreven door de behoudswetten voor impuls en energie. TASCflow lost deze vergelijking iteratief op, zodat in ieder gridpunt van het berekeningsdomein de snelheid, temperatuur, etc. bekend zijn. De te modelleren geometrie is een pijp van een bepaalde lengte en diameter. Daar geen bochten in de pijp zijn opgenomen, is de geometrie rotatiesymmetrisch en heeft slechts een sector (“taartpunt”) uit de leiding gemodelleerd te worden. De twee zijvlakken van de sector zijn symmetrievlakken.

De koperen pijp heeft een buitendiameter van 12 mm en een binnendiameter van 10 mm. De pijp van PPR heeft als diameters 16,2 / 10,1 mm. Figuur 1 toont de dwarsdoorsnede van de koperen pijp met de gridverdeling. In dit geval zijn in de omtreksrichting van de sector 4 gridcellen en over de wanddikte 5 gridcellen gelegd. Bij de buis uit PPR is de wanddikte groter en zijn hierover 7 cellen gelegd. De lengte van de pijpen is 10 m; het aantal gridcellen in de lengterichting bedraagt 400. Het rekendomein bevat in totaal $5 * 401 * 16 = 32080$ gridpunten voor de koperen pijp en 36090 gridpunten voor de pijp uit PPR.



Figuur 1 Gridverdeling koperen pijp (dwarsdoorsnede)

2.2 Invoergegevens

Voor het uitvoeren van een berekening zijn naast de geometrie ook fysische eigenschappen en randvoorwaarden noodzakelijk. De fysische eigenschappen zijn in tabel 1 gegeven.

Tabel 1 Fysische eigenschappen koper en PPR.

	Dichtheid ρ (kg/m ³)	Spec. warmtecapaciteit (J/kg.K)	Warmtegeleidingscoëfficiënt λ (W/m.K)
Koper	8900	390	401
PPR	900	1730	0.23

De buitenzijde van de pijp bevindt zich in lucht van 20 °C en kan afkoelen door vrije convectie. Voor de warmteoverdrachtscoëfficiënt aan deze wand is een waarde van 8 W/m²K genomen.

Met de bovengenoemde modellen zijn tijdsafhankelijke berekeningen uitgevoerd. De pijp is gevuld met water van 20 °C. Op tijdstip $t = 0$ wordt de berekening gestart met een volumestroom water door de pijp van 5 l/min bij een inlaattemperatuur van 60 °C. Vervolgens wordt met een tijdstap van 0,025 s gerekend tot er, in het geval van de koperen pijp, 20 s zijn verstreken. Voor de pijp uit PPR wordt een periode van 40 s doorgerekend.

Uit de eerste berekeningen aan de PPR-pijp bleek dat na een simulatietijd van 40 s een eindtemperatuur van 57,6°C werd bereikt die nog niet stabiel was. Om de DH-factor te bepalen is een stabiele eindwaarde van de temperatuur gewenst. Daarom is de berekening herhaald zonder warmteverlies aan de buitenzijde van de pijp (adiabatische wand). Het verschil met de simulatie met warmteverlies aan de wand bleek verwaarloosbaar klein te zijn ($< 0,1^\circ\text{C}$).

2.3 Uitvoer resultaten

Van iedere tijdstap (in totaal 800 voor koper en 1600 voor PPR) is een uitvoerfile beschikbaar, waarin de berekende temperaturen van alle gridpunten staan. Voor tien dwarsdoorsneden van iedere pijp (op een onderlinge afstand van één meter) zijn door middel van postprocessing van de resultaten tabellen gemaakt, waarin het temperatuurverloop als functie van de tijd is opgenomen. Met behulp van deze tabellen zijn de DH factoren bepaald; deze resultaten worden in het volgende hoofdstuk besproken. De tabellen met berekende DH factoren zijn opgenomen in de bijlagen.

3. Resultaten simulatie en validatie

3.1 Wijze van vergelijking simulatie - meting

Omdat het onderzoek primair gericht is op de wachttijden aan tappunten, uitgedrukt in de combinatie van verdrijftijd en DH-factor, ligt het voor de hand de wachttijd als vergelijkingsbasis te gebruiken.

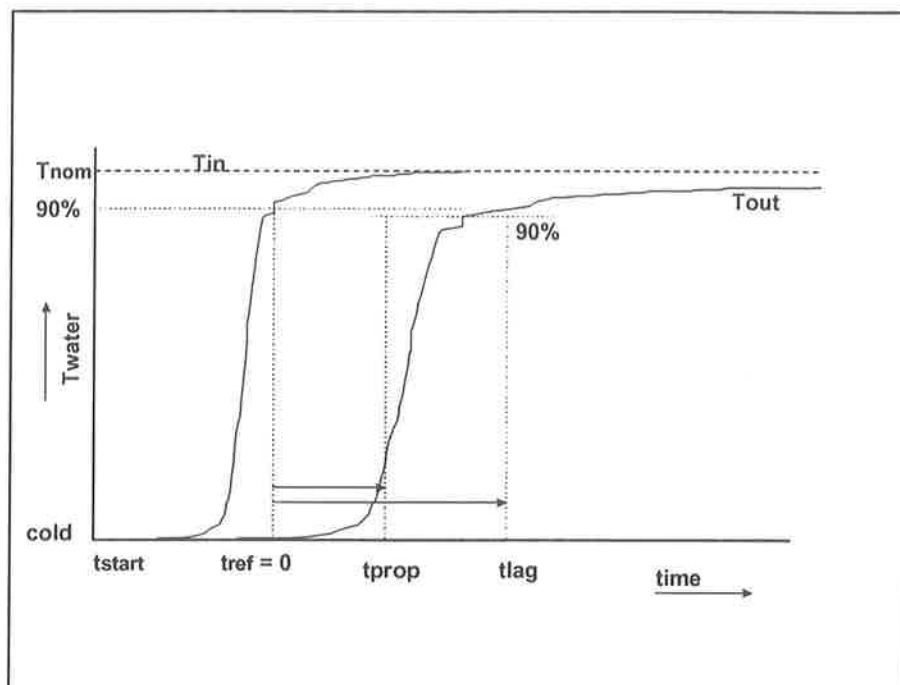
Omdat de klassieke DH-factor uitsluitend aan één punt in de temperatuurkromme aan het tappunt refereert en onderhand wel duidelijk is dat de vorm van de kromme uiteen kan lopen voor verschillende leidingmaterialen is een meer gedetailleerde beschrijving gewenst.

Voor meer detail kan voor een aantal punten van de temperatuurkromme aan een tappunt de wachttijd worden bepaald, zowel voor de simulaties als de metingen. Door deze wachttijden en de resulterende DH-factoren te vergelijken krijgen we een goede eerste indruk van de mate van overeenstemming tussen meting en simulatie.

In figuur 2 is voor de 90% waarde aangegeven hoe de wachttijd wordt bepaald als op het startpunt van de meting geen stapvormig maar een reeds enigszins vervormd temperatuurverloop wordt aangeboden. Voor de andere punten wordt een soortgelijke aanpak gevolgd, waarbij zowel voor de referentietemperatuur als de taptemperatuur een nieuw tijdstip wordt bepaald op basis van de percentuele temperatuurverhoging die als meetpunt wordt gebruikt.

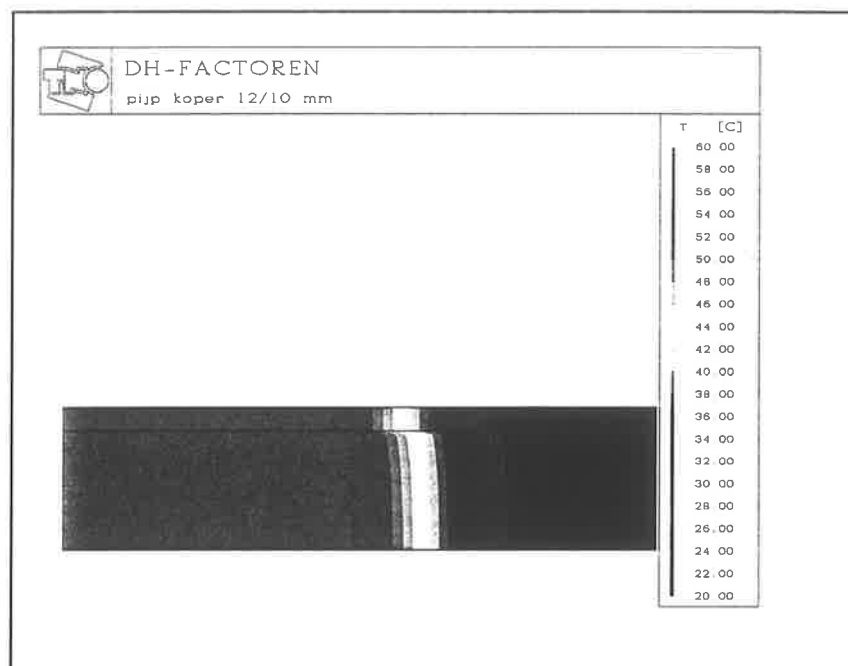
Voor de metingen worden voorsnag de metingen aan een koperen en een PPR buis in opbouw bij 5 l/min gebruikt op de meetpositie op 11 meter vanaf de start. Voor de simulaties wordt de wachttijd en DH-factor bepaald op 3, 6 en 10 meter. Hiermee wordt het eventuele verloop in de DH-factor gegeven. Als referentie wordt de temperatuur in het hart van de buis gebruikt.

De gevonden DH-factoren worden aangeduid met als index de percentuele temperatuurverhoging; bijvoorbeeld DH_{90} of DH_{50} .



Figuur 2 Voorbeeld meetresultaten en verwerking tot wachttijden en DH-factoren.

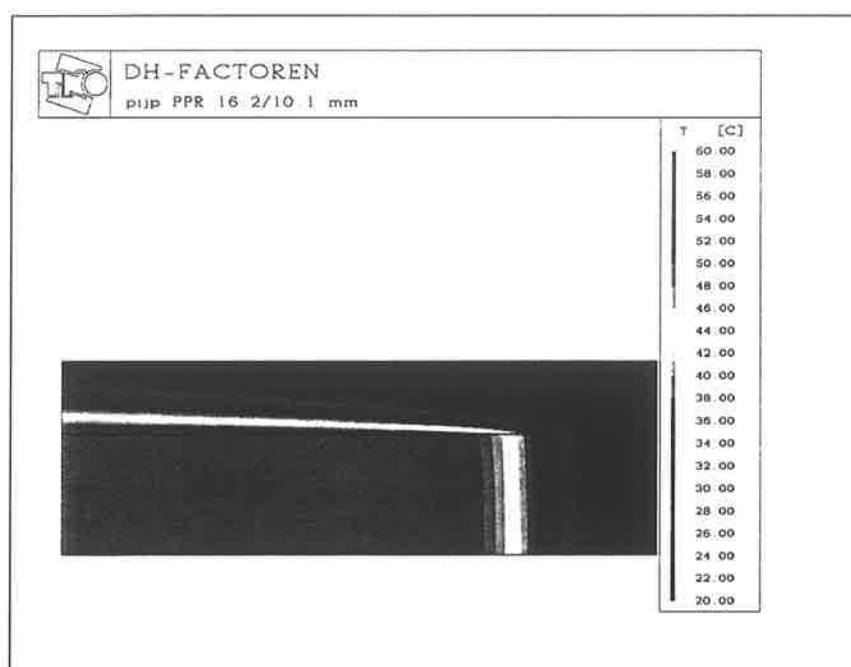
3.2 Kwalitatieve resultaten



Figuur 3 Temperatuurverloop in koperen pijp na 8 sec.

Horizontaal: lengterichting.

Verticaal: onderzijde hertlijn, bovenzijde buitenkant pijp.



Figuur 4 Temperatuurverloop in PPR pijp na 8 sec.

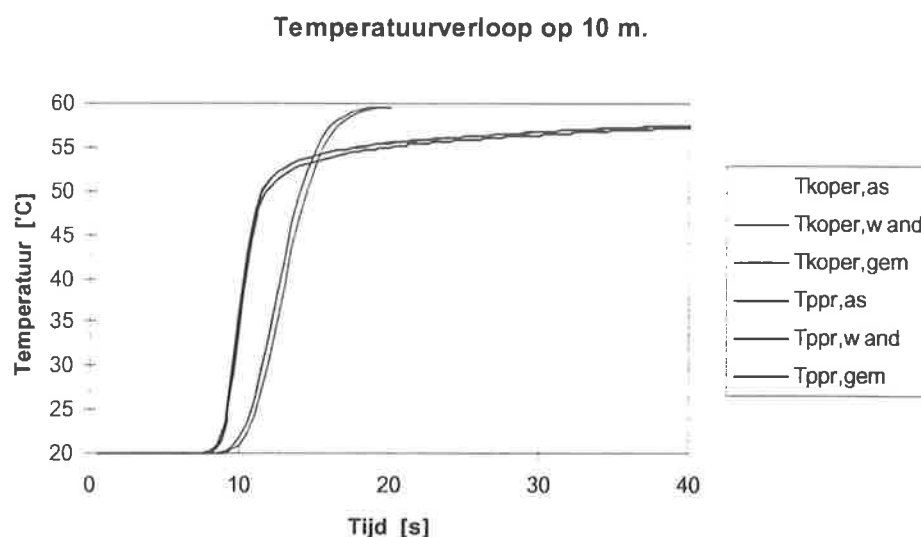
De figuren 3 en 4 tonen het temperatuurverloop in de koperen respectievelijk in de PPR pijp, beide 8 seconden na de start van het tappen. Aangezien de pijpen relatief lang zijn ten opzichte van de doorsnede is ter wille van de zichtbaarheid in de figuren de straal met een factor 400 uitgerekt. Bedacht moet dus worden dat de temperatuurfronten minder steil lopen dan de figuren suggereren.

Bij de koperen pijp is duidelijk te zien dat de watertemperatuur aan de wand door afkoeling vrij snel afneemt. Door de goede warmtegeleiding in het koper is het temperatuurverloop in de wand uniform in de richting van de straal.

Bij de pijp uit PPR is het temperatuurfront in dezelfde tijd verder voortgeschreden dan bij de koperen pijp. Dit wordt veroorzaakt door de veel lagere warmtegeleiding in PPR; duidelijk is te zien dat de warmtedoordringing veel trager verloopt.

Figuur 5 laat het temperatuurverloop in de tijd zien aan het einde van de pijp voor koper en PPR. In de figuur zijn per pijp drie temperaturen uitgezet, namelijk in het hart van de pijp, aan de binnenzijde van de wand en de massastroomgemiddelde waarde. De temperatuur in het hart en het massastroomgemiddelde vallen nagenoeg samen; de temperatuur aan de wand loopt in de tijd iets achter bij beide andere waarden. Voor de koperen pijp wordt na 20 seconden een temperatuur bereikt van 59,6 °C.

Voor de pijp van PPR wordt na 40 seconden een eindtemperatuur van slechts 57,6 °C bereikt. Daar de warmte-isolatie van PPR veel hoger is dan van koper en daardoor het warmteverlies naar de omgeving nog kleiner zal zijn, mag verwacht worden dat de eindtemperatuur na voldoende lange tijd evenals bij koper de 60 °C zal benaderen. Bij het berekenen van de DH factoren is daarom uitgegaan van een eindtemperatuur van 60 °C.



Figuur 5 Temperatuurverloop op 10 m. voor koper en PPR.

3.3 Wachttijden en DH-factoren

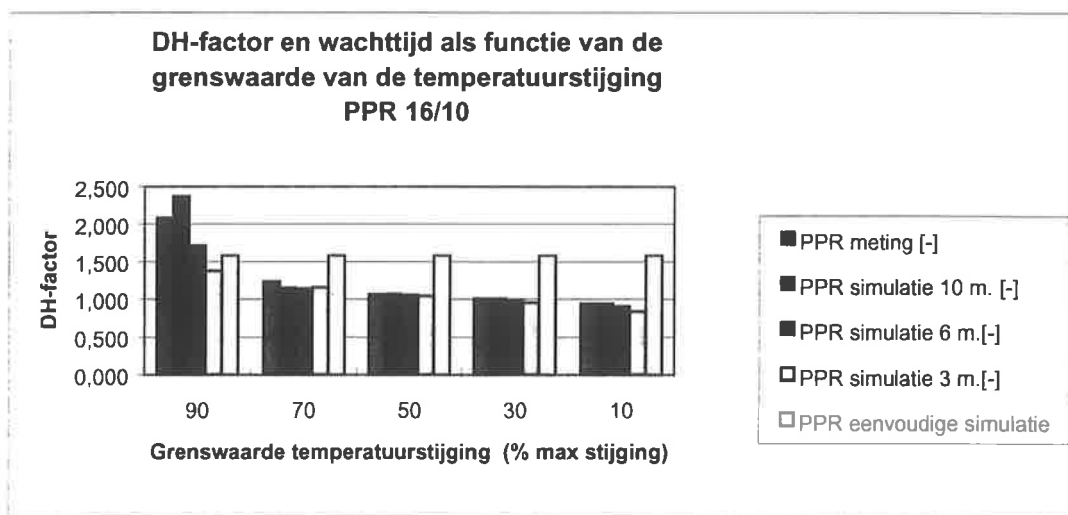
De gevonden resultaten zijn hieronder weergegeven in de vorm van een overzicht van DH-factoren voor verschillende percentuele temperatuurverhogingen. Tevens zijn de gemeten DH-factoren gegeven. In figuur 6 en 7 zijn deze waarden grafisch weergegeven.

Tabel 2 *DH-factor koper 12/10*

Temperatuurverhoging [% $\Delta T_{\max}$, tappunt]	Verdrijftijd 10 m. [sec]	Wachttijd 10 m. simulatie [sec]	DH-factor-meting [-]	DH-factor-simulatie 10 m. [-]	DH-factor-simulatie 6 m. [-]	DH-factor-simulatie 3 m. [-]
90	9.407	15.40	1.53 / 1.55	1.637	1.714	1.855
70	9.407	13.72	1.53 / 1.56	1.458	1.478	1.505
50	9.407	12.69	1.41 / 1.39	1.349	1.330	1.305
30	9.407	11.75	1.30 / 1.24	1.249	1.211	1.137
10	9.407	10.57	1.18 / 1.09	1.124	1.061	0.941

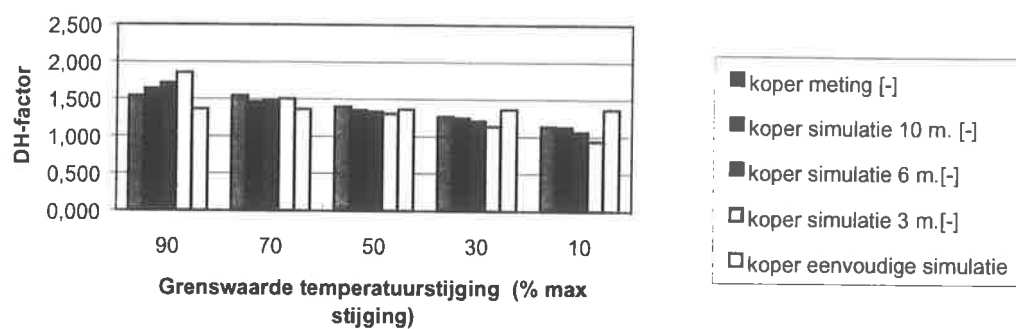
Tabel 3 *DH-factor PPR 16/10*

Temperatuurverhoging [% $\Delta T_{\max}$, tappunt]	Verdrijftijd 10 m. [sec]	Wachttijd 10 m. simulatie [sec]	DH-factor meting [-]	DH-factor simulatie 10 m. [-]	DH-factor simulatie 6 m. [-]	DH-factor simulatie 3 m. [-]
90	9.596	22.79	2.01 / 2.16	2.375	1.715	1.382
70	9.596	11.07	1.20 / 1.28	1.154	1.142	1.157
50	9.596	10.27	1.06 / 1.08	1.070	1.061	1.047
30	9.596	9.706	0.97 / 1.04	1.011	0.992	0.954
10	9.596	9.046	0.91 / 0.98	0.943	0.902	0.844



Figuur 6 *Gemeten en berekende DH-factoren koper 12/10 voor verschillende percentuele temperatuurverhogingen*

**DH-factor en wachttijd als functie van de
grenswaarde van de temperatuurstijging
koper 12/10**



*Figuur 7 Gemeten en berekende DH-factoren PPR 16/10 voor verschillende percentuele
temperatuurverhogingen*

4. Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies t.a.v. modellering in CFX-TASCflow

Het CFD model geeft de resultaten van een ideale proef, namelijk een stapvormige opbouw van de inlaattemperatuur van 20 naar 60 °C. Verder zijn in het model geen versturende invloeden aanwezig van bochten en T-stukken in de leiding. Daarnaast zijn de ingestelde waarden bij de experimenten niet geheel gelijk aan de nominale waarden die in het model zijn gebruikt. Zo kan bijvoorbeeld eindtemperatuur iets hoger zijn dan 60 °C. Ondanks deze (geringe) verschillen levert de modellering DH factoren op, die redelijk tot goed overeenkomen met de experimenteel bepaalde waarden. Het model is zeker geschikt om voor uiteenlopende geometrieën, materialen en overige randvoorwaarden de DH factoren te bepalen.

4.2 Conclusies t.a.v. DH-factor koper en PPR

Zowel de metingen als simulaties laten zien dat de DH-factor op 90% van de maximale temperatuurverhoging van koper aanzienlijk kleiner is dan die van PPR. Na 10 meter bedraagt deze 1.5-1.6 voor koper en 2.0-2.3 voor PPR. Opmerkelijk is de afhankelijkheid van de DH-factor van de buislengte. Voor koper *daalt* de DH-factor bij oplopende buislengte van 1.8 (3 m) naar 1.6 (10 m). Voor PPR *stijgt* de DH-factor bij oplopende buislengte van 1.3 (3 m) naar 2.4 (10 m). De verklaring hiervoor is het grote verschil in warmtegeleiding in het buismateriaal.

4.3 Conclusies en overwegingen t.a.v. criterium voor wachttijd en DH-factor

Het temperatuurverloop aan het tappunt op 10 m laat opmerkelijke verschillen zien tussen koper en PPR.

Bij een koperen pijp blijft de temperatuur langer op een lagere waarde om vervolgens relatief snel naar de eindwaarde te stijgen. Bij een PPR pijp stijgt de temperatuur na het doorlopen van de verdrijftijd snel tot ongeveer $\frac{3}{4}$ van de eindwaarde, om vervolgens zeer geleidelijk naar de eindwaarde te stijgen.

De zeer geleidelijke stijging van de temperatuur in de PPR pijp maakt het moeilijk om, met name middels metingen, de DH₉₀-factor nauwkeurig te bepalen.

Daarnaast kan de vraag worden gesteld wat het meest relevante criterium is om de wachttijd aan te geven. Van oudsher werd het (volledig) bereiken van de eindtemperatuur als eis gehanteerd. Voor een aantal toepassingen is deze eis nog steeds relevant.

Ondertussen is ook duidelijk geworden dat voor vele toepassingen een “nuttige taptemperatuur” van 25 - 40°C wordt gehanteerd. Ter illustratie wordt verwezen naar de in Gaskeur CW1 gehanteerde tappatronen, die gebaseerd zijn op praktijk-onderzoek. Als deze lijn wordt gevolgd is het meer voor de hand liggend om een stijging tot 50 à 70% van de eindtemperatuur als criterium voor de wachttijd te nemen

Als deze benadering wordt gevolgd laten zowel de metingen als simulaties zien dat de DH-factor op 70% resp. 50 % van de maximale temperatuurverhoging van koper *hoger* is dan die van PPR. Na 10 meter bedraagt deze 1.3-1.5 voor koper en 1.0-1.2 voor PPR.

De invloed van de buislengte op de gevonden DH-factor is bij deze criteria overigens aanzienlijk geringer.

4.4 Conclusies en overwegingen t.a.v. criterium voor warmteverlies en DH-factor

De warmteverliezen tijdens en na een tapping worden bepaald door de volgende factoren:

- Opwarmen en afkoelen van water en leiding.
Het warmteverlies t.g.v. het opwarmen van het water in de leiding en het leidingmateriaal, gevolgd door afkoeling naar de omgeving. Dit verlies wordt bepaald door de warmtecapaciteit van het water in de leiding en van de leiding zelf en van de temperatuurverhoging/verlaging. De totale warmtecapaciteit wordt gegeven door de warmtecapaciteit van het water maal de DH-factor, zoals die met het eenvoudige model is berekend.
- Mate van opwarming van water en leiding.
Het bovengenoemde verlies kan lager uitvallen als geen totale opwarming van het water en het leidingmateriaal plaatsvindt. Bij koperen leidingen zal in de regel totale opwarming optreden; bij kunststofleidingen zal dit bij kort-durende tappingen niet volledig gebeuren. Hierdoor kunnen de verliezen lager uitvallen.
- Mate van afkoeling van water en leiding.
De snelheid waarmee dit gebeurt wordt bepaald door de warmteoverdracht van de leiding naar de omgeving. De snelheid van afkoeling ligt voor koper en kunststoffen en voor opbouw en inbouw leidingen in dezelfde grootteorde [1]. Als meerdere tappingen kort achter elkaar worden uitgevoerd zal echter geen volledige afkoeling optreden, waardoor de verliezen lager uitvallen.
- Tapverliezen onder nuttige taptemperatuur.
Zolang de temperatuur van het water aan het tappunt onder de nuttige taptemperatuur ligt treden er tapverliezen op. Deze verliezen zijn voor alle materialen relatief gering als een lage nuttige taptemperatuur wordt gekozen. Als echter de traditionele 90% temperatuurstijging als criterium wordt gebruikt zullen de verliezen voor met name kunststoffen relatief hoog zijn, omdat veel warm water verloren gaat voordat het criterium bereikt wordt.

De DH-factor, zoals berekend met het eenvoudige model blijkt een centrale rol te spelen in de bepaling van de energieverliezen. De interactie tussen tappingen t.g.v. onvolledige afkoeling van water en leiding kan hierin eenvoudig verwerkt worden als de afkoelsnelheid bekend is. De invloed van de andere twee effecten kan zeer uiteenlopen, afhankelijk van de gekozen criteria.

Gezien het voorgaande lijkt een onderscheid tussen een DH-factor voor de wachttijd en voor het energiegebruik noodzakelijk.

4.5 Aanbevelingen

- Uitvoeren van aanvullende simulaties en vergelijking van de resultaten hiervan met de reeds uitgevoerde metingen, met name met gelaagde buizen, ter verdere validatie van het dynamisch model;
- Bezinning op het te hanteren criterium voor de DH-factor. De traditionele benadering (eindwaarde) is praktisch ondoenlijk en bij het 90% criterium zijn zowel uit overwegingen m.b.t. de “nuttige taptemperatuur” als uit meettechnische overwegingen vraagtekens te plaatsen.
- Bepalen van de energieverlies aan het begin van de tappingen voor verschillende nuttige taptemperaturen.
- Bepalen van het verdere verloop van de opwarming van de PPR-leiding t.b.v. de berekening van de energie-inhoud van het water en de leiding aan het eind van een tapping.
- Vervanging van het huidige begrip DH-factor door twee nieuwe factoren:
 - Factor leidingwachttijd (Fw) om de verhouding tussen wachttijd en verdrijftijd te geven, eventueel met als toevoeging een percentage voor de temperatuurverhoging waarop deze factor betrekking heeft (voorbeeld: Fw90, Fw50);
 - Factor leidingcapaciteit (Fc) om de verhouding tussen de warmtecapaciteit van water en leiding t.o.v. de warmtecapaciteit van water te geven.

5. Literatuur

- [1] DH-factoren van leidingen voor warmtapwater - resultaten van metingen en simulaties aan diverse leiding en materiaaltypen (R2000/231)
G.J. Afink, J. van Wolferen
TNO-MEP, Apeldoorn, juli 2000

- [2] CFX-TASCflow User Documentation
Version 2.4, March 1995 - Version 2.9, July 1999
AEA Technology Engineering Software, Ltd.
Waterloo, Ontario, Canada

6. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

VROM-DGVH

Namen en functies van de projectmedewerkers:

G.J. Afink

R. van der Welle

J. van Wolferen

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

n.v.t.

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

2000

Ondertekening:

Goedgekeurd door:

J. van Wolferen
projectleider

Ir. S.M. van der Sluis
afdelingshoofd