

Ontwerpen en analyseren van hydronische installaties

Dit artikel presenteert een simulatietool die ingenieurs ondersteunt bij het ontwerpen en analyseren van hydronische verwarmingsinstallaties. Het hydraulische en thermische installatiegedrag wordt in detail onderzocht bij zowel vollast als deellastwerking. Hierdoor kunnen in de ontwerpfase optimalisaties worden doorgevoerd. Een grafische user interface (GUI) maakt de achterliggende simulatiemodellen snel en gebruiksvriendelijk toegankelijk. Enkele analysevoorbeelden worden toegelicht.

R. (Roel) Vandenbulcke en L. (Luc) Mertens; Karel de Grote-Hogeschool, Departement Industriële Wetenschappen en Technologie

Hydronische verwarmingsinstallaties worden typisch ontworpen voor vollastcondities, waarbij men uitgaat van de meest extreme weersomstandigheden. De berekeningen die daarmee gepaard gaan, zijn statisch en hoofdzakelijk gebaseerd op vuistregels. Bij deellastwerking wijzigen de systeemdebieten en temperaturen echter drastisch, wat vaak leidt tot een lagere energie-efficiëntie dan beoogd. Dit ongekende deellastgedrag maakt het voor ontwerpers zeer moeilijk om de prestaties van de installatie in de ontwerpfase te evalueren en om de gepaste systeemcomponenten te selecteren. Als resultaat hiervan beperken vele ontwerpers zich vaak tot het recycleren van de vertrouwde concepten, zonder daarbij nieuwe technologieën en efficiëntere alternatieven in overweging te nemen.

■ ONTWERPTOOL EN GUI

Figuur 1 illustreert de GUI die het mogelijk maakt om verschillende hydronische installaties op een snelle en gebruiksvriendelijke manier te analyseren. Door middel van keuzeschakelaars kan de hydronische opbouw van de installatie worden geconfigureerd, waarbij simultaan de respectievelijke model-

len automatisch worden opgehaald uit de modellenbibliotheek en onderling gekoppeld. Door met de muiscursor op een hydraulische schakeling te klikken, verschijnt er een pop-up-venster zoals geïllustreerd in figuur 2. Hierin kunnen alle hydraulische en thermische ontwerpparameters worden ingegeven. Met behulp van de keuzeschakelaars kan hier de gewenste regelstrategie worden bepaald, om vervolgens de regelparameters in te geven. De meest gebruikte hydronische schakelingen, zoals mengschakeling, verdeelschakeling en menginjectie, zijn opgenomen in de tool en kunnen zonder beperkingen worden gecombineerd. Voor de warmteproductie kunnen zowel alleenstaande ketels als cascadeconfiguraties worden geselecteerd. De visualisatie van de GUI lijkt bewust zeer sterk op een Process & Instrumentation Diagram (P&ID) om zodoende maximale systeemtransparantie te verkrijgen.

Om de tool niet te ingewikkeld te maken, beperkt de GUI zich in deze fase van de ontwikkeling tot het hydronisch ontwerp binnen de grenzen van de stookplaats. Het gehele netwerk met stijgleidingen, aftakkingen en afgiftesystemen wordt momenteel vereenvou-

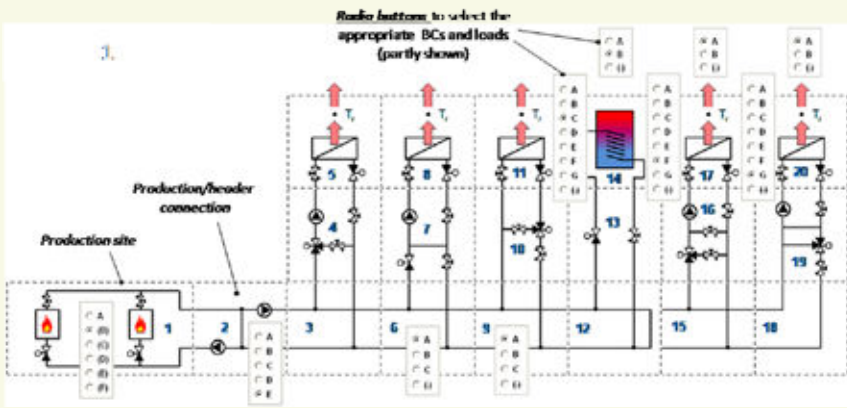
digd tot equivalente warmtewisselaars.

■ ANALYSEVOORBEELDEN

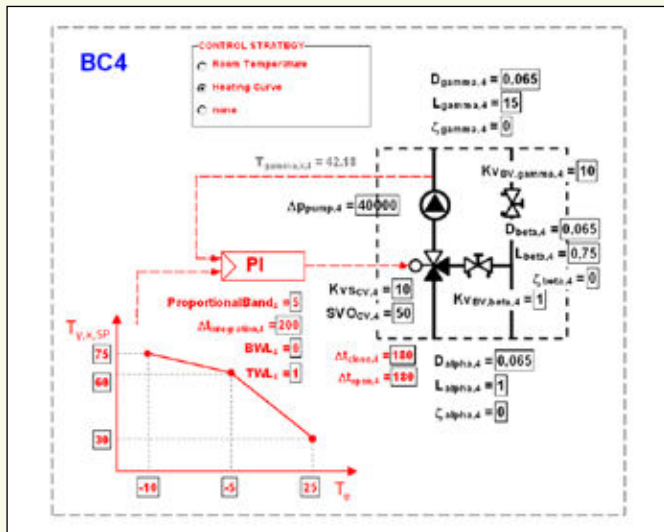
Hoe kan deze tool worden geïntegreerd in het hydronisch ontwerpproces? Dit wordt geïllustreerd met een aantal analyseprocedures die zich zowel richten op de regelbaarheid van het systeem als op de energetische efficiëntie ervan.

Lineariteit van de regeling

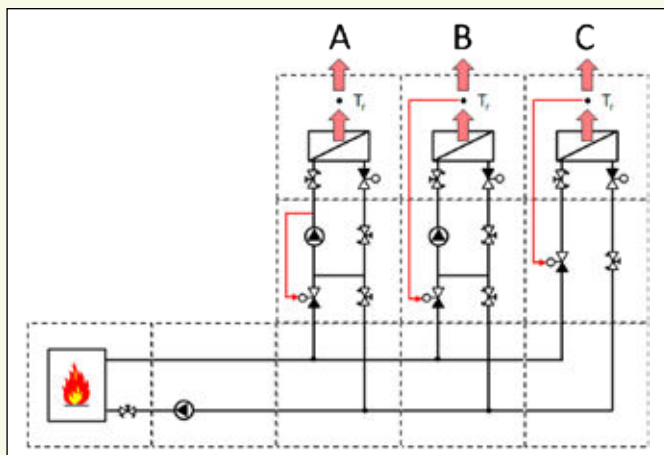
Vanuit regeltechnisch standpunt is het wenselijk een lineair verband te krijgen tussen het stuursignaal en de geregelde grootte. Op deze manier kunnen de regelparameters (proportionele band, nasteltijd) worden geoptimaliseerd over het gehele bereik van de actuator. In geval van een niet-lineaire relatie, kan de regelaar alleen worden geoptimaliseerd in de nabije omgeving van één enkel werkingspunt. Buiten dit werkingspunt dalen de prestaties van de regelkring en kan instabiliteit ontstaan. In de verwarmingsinstallatie, zoals geïllustreerd in figuur 3, wordt de watertemperatuur van de stijgleiding in circuit A geregeld in functie van een weersafhankelijke stooklijn. Voor deze zogenoemde passieve mengschake-



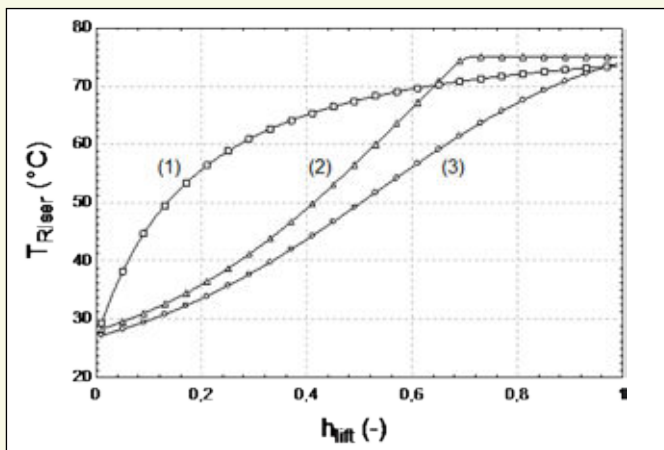
-Figuur 1- Structuur van de grafische user interface met keuzeschakelaars om de gewenste configuratie te selecteren



-Figuur 2- Pop-up-venster voor parameter input



-Figuur 3- Hydronische verwarmings-installatie



-Figuur 4- Klepgedrag in circuit A

ling wordt de lineariteit tussen de geregelde grootheid T_{riser} en de klepstand h_{lift} onderzocht in figuur 4. In de analyseprocedure wordt de klep volledig geopend en gesloten terwijl de andere kleppen van circuits B en C volledig geopend blijven in hun vollastpositie.

Het voorbeeld illustreert: 1) een slechte lineariteit wegens een foutief geselecteerde lineaire regelklep in plaats van een equiprocentuele klep; 2) vervorming omwille van een onbalans tussen de primaire ketelpomp en de secundaire pomp waardoor warm water wordt overgestort in de bypass van de mengschakeling, wat leidt tot een daling van het nuttige regelbereik met ongeveer 30%; 3) een optimaal en bij benadering lineair regelgedrag door de juiste selectie van een equiprocentuele regelkraan met voldoende klepautoriteit.

Hydraulische interactiviteit

In de hiervoor beschreven analyse van de regel-lineariteit werd elke regelkring beschouwd als storingsvrij, ervan uitgaande dat de andere regelkringen niet actief waren. In de praktijk maken alle regelkringen echter deel uit van dezelfde hydronische installatie, waardoor ze elkaar beïnvloeden. Zo kan een regelkraan worden blootgesteld aan drukvariaties, die worden veroorzaakt door toedoen van andere regelkransen. In geval van buitensporige drukvariaties kan dit leiden tot een instabiele temperatuursregeling en oscillerende klep-posities.

Om dit fenomeen van hydraulische interactiviteit te kunnen onderzoeken, werden alle dynamische gedragingen van het hydraulische netwerk opgenomen in de simulatiemodellen. Zo is de vorm van de drukvariaties bijvoorbeeld afhankelijk van de snelheid waarmee de servomotor de klep kan openen en sluiten. Maar ook de tijdsgeïntegreerde acties van de PI-regelaars worden in rekening gebracht.

Figuur 5 illustreert de vervorming van een regelkarakteristiek onder invloed van de hydraulische interactiviteit. De doorlopende curve toont het debiet in de 2-wegregelkraan van circuit C volgens de vermelde analyseprocedure van de regel-lineariteit, waarbij wordt verondersteld dat enkel de regelkraan van circuit C actief is en de overige regelkransen volledig geopend zijn. De 'dot-plotted' simulatieresultaten (cirkeltjes) tonen het debiet in de klep wanneer ook circuits A en B actief zijn. Het werkelijke regelgedrag is veel grilliger dan de continue curve aangeeft. Bovendien is het reële debiet typisch hoger, omdat de overige kleppen in circuits A en B hoofdzakelijk in deel-last werken. Hierdoor komt een groter deel van de beschikbare pompdruk over de klep van circuit C te staan.

Temperatuurtransiënten

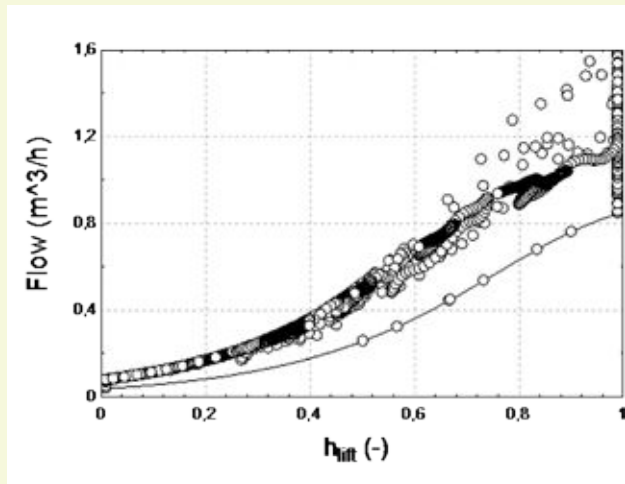
Om een beter inzicht te krijgen in het uiteindelijke effect van de voornoemde regelspecten, kunnen met de tool verschillende temperatuurtransiënten worden geanalyseerd. Figuur 6 illustreert bijvoorbeeld het gedrag van de ruimtetemperaturen in circuits A, B en C. De setpointtemperatuur voor circuits B en C varieert tussen 15°C en 20°C, terwijl de ruimtetemperatuur in circuit A continu naar 18°C wordt geregeld. Echter, door de hydraulische interactiviteit wordt de ruimtetemperatuur in circuit A verstoord wanneer de setpointtemperaturen van circuit B en C plotseling veranderen.

Door het gedrag van deze ruimtetemperaturen te analyseren in functie van de tijd, kunnen de proportionele en integratie versterkingsfactoren van de regelaars worden geoptimaliseerd.

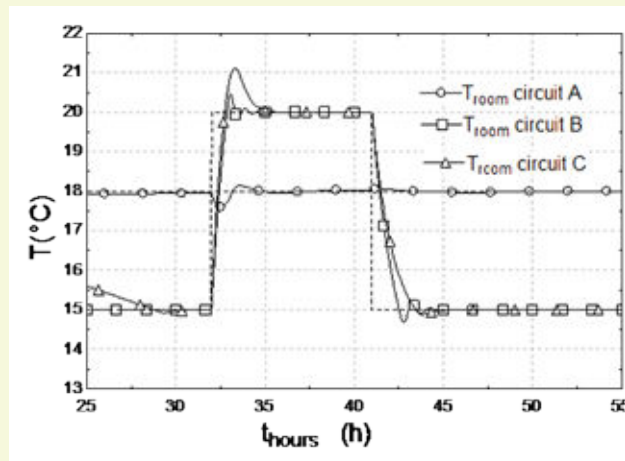
Energie-efficiëntie analyse

De voorgestelde ontwerptool maakt het voor de ontwerper mogelijk om de impact van het hydronisch ontwerp op de energie-efficiëntie te evalueren. Speciale aandacht wordt daarbij gevestigd op het nastreven van optimale werkingscondities voor de warmteproductie. Voor de specifieke situatie van condensatieketels, waarbij de retourtemperatuur een dominante invloed heeft op het productierendement, wordt de deellast retourtemperatuur geanalyseerd in functie van het thermisch vermogen. Bij wijze van voorbeeld wordt de retourtemperatuur van de ketel onderzocht in de installatie zoals weergegeven in figuur 3. Drie hydronische alternatieven worden geanalyseerd: a. de ketel wordt direct gekoppeld met de collectoren. Er wordt geen evenwichtsleiding gebruikt en de ketel wordt op een constante temperatuur van 75°C geregeld; b. tussen de ketel en de collectoren wordt een evenwichtsfles (drukloze verdeler) geplaatst (zoals weergegeven in figuur 1). De ketel heeft een constante temperatuur van 75°C; c. er wordt een evenwichtsfles gebruikt. De keteltemperatuur wordt volgens een stooklijn geregeld in functie van de buitentemperatuur.

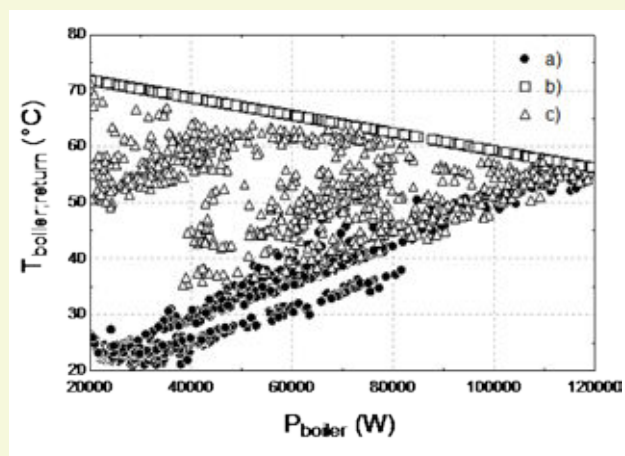
Het gedrag van deze drie hydronische alternatieven wordt geanalyseerd over een periode van één maand met een resolutie van 15 minuten. Zoals weergegeven in figuur 7, daalt de retourwatertemperatuur in configuratie (a) naarmate de thermische last daalt. In configuratie (b) daarentegen stijgt de retourwatertemperatuur bij afnemende warmtelast. Bij deellastwerking daalt namelijk de opening van de 3-wegmengkranen waardoor ook het debiet in de collectoren daalt. Aangezien het primaire keteldebiet constant blijft, wordt er in de evenwichtsfles warm ketelwater overgestort in de



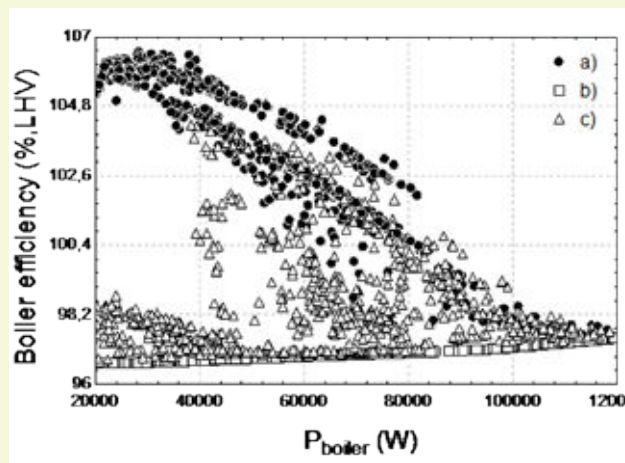
-Figuur 5- Verstoord klepgedrag door hydraulische interactiviteit in circuit C



-Figuur 6- Transiënte ruimtetemperatuur toont hydraulische interactiviteit aan



-Figuur 7- Gesimuleerde ketelretourwatertemperatuur als functie van de thermische last



-Figuur 8- Ketelrendement als functie van de thermische last

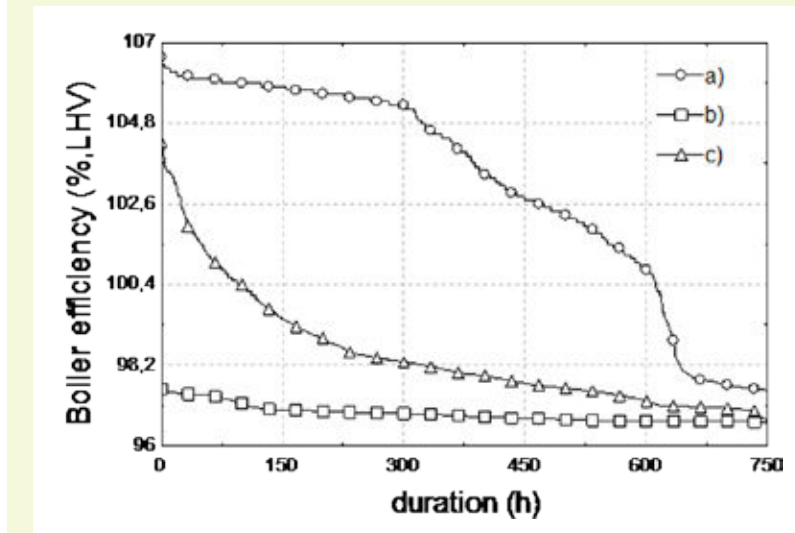
retourleiding, waardoor deze opwarmt.

In configuratie (c) blijkt het overstorten van warm water in de evenwichtsfles gedeeltelijk opgelost te zijn. Door de weersafhankelijke keteltemperatuur zullen de 3-wegkranen namelijk naar een grotere klepopening neigen waardoor het debiet in de collectoren gemiddeld hoger blijft en beter is afgestemd op het keteldebiet.

In figuur 8 wordt de uiteindelijke impact van de retourtemperatuur op het ketelrendement onderzocht (t.o.v. de onderste verbrandingswaarde). Zoals verwacht, is het ketelrendement hoger voor die configuraties die een lagere retourtemperatuur garanderen.

In een volgende stap worden de simulatiesultaten herschikt tot rendementsduurcurves die het ketelrendement weergeven in functie van de duurtijd, figuur 9.

Zoals aangegeven in tabel 1, is het uiteindelijke brandstofverbruik van configuratie (a) het laagst en geeft deze configuratie ten opzichte van configuratie (b) een besparing van 7,1%. Hiermee wordt de impact van het hydronisch ontwerp op het energiegebruik aangetoond. Naast brandstofverbruik kan ondermeer ook



-Figuur 9- Rendementsduurcurves van de verschillende configuraties

het elektriciteitsverbruik van pompen worden onderzocht.

Meer informatie is te vinden in de originele paper: 'A simulation assisted design tool for boiler room Hydronics', Vandenbulcke, Mertens, Proceedings of Building Simulation 2011.

| Configuration | Qboiler,input (MWh) |
|---------------|---------------------|
| A | 353147 |
| B | 380324 |
| C | 371559 |

-Tabel 1- Brandstofverbruik

Verhuur van tijdelijke klimaatoplossingen.

Recool is uw totaalleverancier in verhuur van klimaatoplossingen. Door middel van het brede leveringsprogramma kunnen wij u de oplossing bieden voor vrijwel ieder klimaatprobleem.



Chillers



Luchtbehandeling



Airconditioning & Warmtepompen



Koeling



Vochtbeheersing



Ventilatie

Hierboven illustreren wij graag de diverse producten uit ons assortiment. Meer informatie over deze apparatuur kunt u eenvoudig opvragen via de QR-code hiernaast of door een bezoek aan onze website www.recool.nl.

Bij ons kunt u terecht voor méér dan alleen de levering van uw apparatuur. Ook advisering en ondersteuning in alle fases van uw project vormt voor ons een belangrijk onderdeel van de totaaloplossing.

Wij laten u graag zelf de toegevoegde waarde van dit concept ervaren en nodigen u uit om contact met ons op te nemen voor het bespreken van de mogelijkheden.

Scan de QR-code met uw smartphone of tablet voor meer informatie!



Anders denken in klimaatoplossingen

ADVISING | ONDERSTEUNING | TOTAALOPLOSSING

Recool BV | 078 - 691 10 00 | www.recool.nl