

e-Detective voor vloervelden

Dit artikel presenteert de vondst van een nieuwe constante die het gedrag van watergevoerde vloervelden karakteriseert bij een constant debiet. De nieuwe parameter betreft een temperatuurrendement. Het rendement kan gebruikt worden als faaldiagnoseparameter voor het functioneren van de vloervelden. Waarden van het temperatuurrendement die sterk afwijken, corresponderen met faalgedrag, zo blijkt uit de gepresenteerde casus. De systematiek biedt perspectief voor geautomatiseerde faaldiagnose (e-Detective). De resultaten zijn geboekt binnen het RAAK PRO project Installaties 2020 (tevens Impuls project TVVL).

Dr.ir. C.J. (Kees) Wisse, DWA

INLEIDING

In het project RAAK PRO Installaties 2020 wordt hard gewerkt aan tools om installaties beter te laten functioneren, met als doel de beoogde energieprestatie en comfortprestatie waar te maken [1]. In het werkpakket 2 worden nieuwe diagnosesystemen ontwikkeld om het falen van installaties op te sporen. Er werkt een breed consortium aan dit project [1]. Het consortium wordt geleid door het Lectoraat Energie en de Gebouwde omgeving van de Haagse Hogeschool. TVVL is betrokken als één van de vertegenwoordigers van de beroepspraktijk (Impuls-project). Het project wordt gesubsidieerd door een Raak-PRO-subsidie van de Stichting Innovatie Alliantie (SIA). DWA heeft zich als één van de marktpartijen gericht op onderzoek naar afgiftesystemen. Dit artikel geeft een verslag van een zoektocht naar het succes van een nieuwe faaldiagnoseparameter. Het uiteindelijke doel is de ontwikkeling van faaldiagnoseparameters die gericht en geautomatiseerd faalgedrag van installaties kunnen aanwijzen (e-Detective). Het startpunt is genomen bij betonkernactivering, maar het

concept is ook getest voor vloerverwarming/koeling.

TEMPERATUURVERSCHILLEN WATER

De nieuwe faaldiagnoseparameter richt zich op het temperatuurverschil tussen de aanvoer en retour van het watercircuit. Dat is een relevante parameter in de gehele keten van opwekking, distributie en afgifte. Een sterk afwijkende retourtemperatuur kan de prestaties van veel duurzame opwekkingssystemen behoorlijk teniet doen. Energiecentrales met warmte-/koudeopslag kunnen slechts beperkt duurzame warmte of koude leveren als de retourtemperatuur te hoog (verwarming) of te laag (koeling) is. Warmtenetten hebben verder belang bij goede uitkoeling van de netten. Transportleidingen kunnen dan kleiner gedimensioneerd worden en de pompenergie wordt een stuk lager. Met lagere aanvoertemperaturen ontstaan er bij warmtenetten veel meer kansen voor benutting van restwarmte en worden warmteverliezen kleiner. Samenvattend: genoeg reden om te

zoeken naar een faaldiagnoseparameter die de aanvoer en retourtemperatuur met elkaar in verband brengt.

NIEUWE DIAGNOSEPARAMETER

De nieuwe diagnoseparameter die ontwikkeld is, is als volgt afgeleid voor betonkernactivering. Het vermogen dat waterzijdig aan het beton wordt overgedragen bedraagt:

$$P_{BKA,1} = \rho c q_v (T_{aanvoer} - T_{retour})$$

Waarbij ρc en q_v respectievelijk de water-eigenschappen en het debiet representeren.

Het vermogen dat wordt afgegeven aan de ruimte kan men als volgt schrijven:

$$P_{BKA,2} = A (T_{water} - T_{ruimte}) / R_{wt}$$

Waarbij P_{BKA} het vermogen betreft (W/m^2), A het warmtewisselend oppervlak en R_{wt} de samengestelde warmteweerstand tussen de watertemperatuur in het distributienet en de ruimtetemperatuur. Deze warmteweerstand is min of meer constant en verder uitgewerkt in ISSO 85, bijlage D [4]. Eerdere data met betrekking tot ruimte- en watertemperaturen zijn gepubliceerd in [2] en [3].

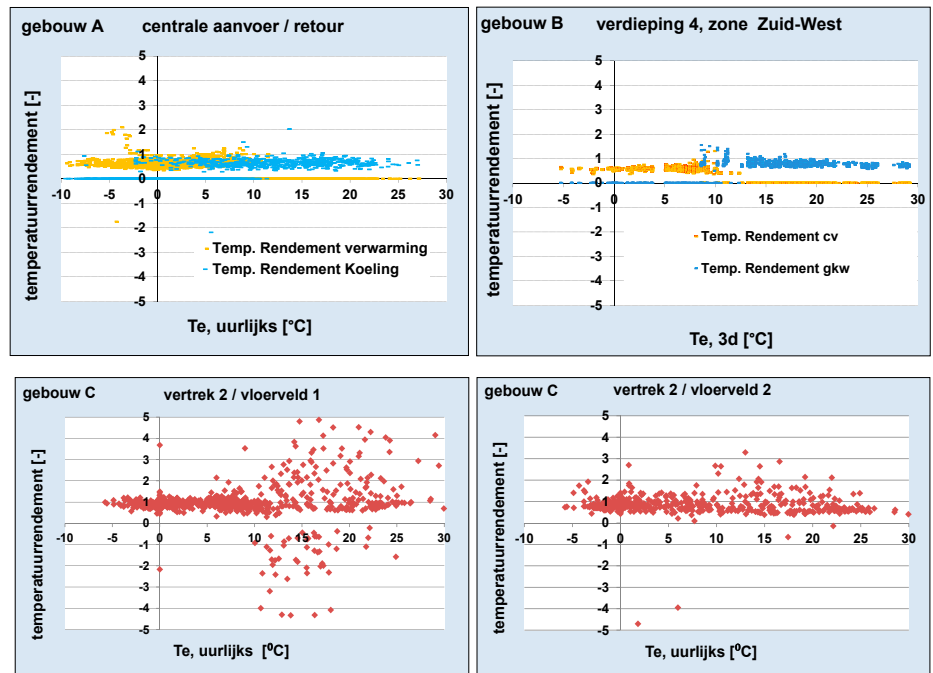
Door de twee vermogens aan elkaar gelijk te stellen en de temperatuurverschillen op elkaar te delen, ontstaat het volgende temperatuurrendement:

$$\frac{(T_{\text{aanvoer}} - T_{\text{retour}})}{(T_{\text{aanvoer}} - T_{\text{vertrek}})} = \frac{A / (\rho q_v R_{\text{wt}})}{(1 + A / (\rho c q_v R_{\text{wt}}))}$$

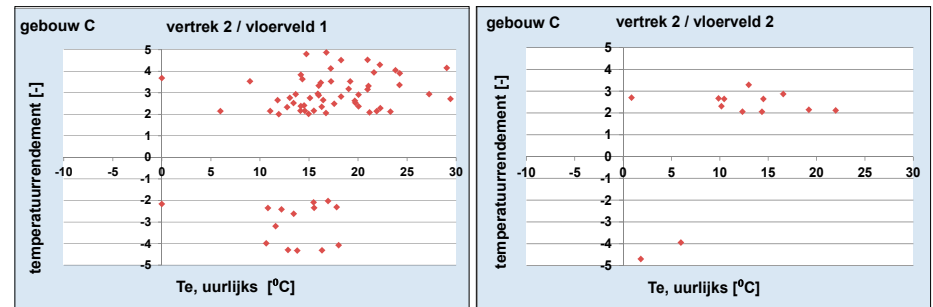
Hierin is voor de watertemperatuur het numerieke gemiddelde genomen van de aanvoer- en retourtemperatuur. Het aan elkaar gelijkstellen van de vermogens is natuurlijk een verdere vereenvoudiging, een benadering. De traagheid en buffering in de betonmassa zijn momentane vermogens en die zijn niet per definitie aan elkaar gelijk. In de aanpak is niet gekozen om de mogelijke buffer- en traagheidsterm eerst uitgebreid te onderzoeken. De aanpak was de volgende: stel dat we uurlijks gemiddelde temperaturen op deze wijze op elkaar delen: wat zien we dan? Levert dit een generiek beeld op en is het temperatuurrendement bruikbaar als faaldiagnoseparameter?

■ GENERIEKE MAAT?

Een interessant punt wat het generieke beeld betreft, is het volgende: wat kunnen we eigenlijk verwachten wat betreft de uitkomst van het temperatuurrendement? Daarom eerst een gedachtenexperiment. Stel, er is sprake van een verwarmingssituatie: de aanvoertemperatuur is dan groter dan de vertrektemperatuur en ook de retourtemperatuur is groter dan de vertrektemperatuur. De teller is kleiner dan de noemer en het rendement zal dus naar verwachting tussen 0 en 1 liggen. Voor koeling geldt een vergelijkbare redenering, alleen zijn de aanvoer- en retourtemperaturen dan beide lager dan de vertrektemperatuur. Verder zullen we een min of meer constante waarde kunnen verwachten als er sprake is van een constant debiet over de vloervelden (zie rechterdeel definitie van het temperatuurrendement). Hoe pakt dit uit bij toepassing in de praktijk? Figuur 1 laat de resultaten zien voor drie gebouwen. Twee daarvan maken gebruik van betonkernactivering en zijn eerder onderzocht met betrekking tot comfort en regelstrategie (zie [2, 3]). Er wordt gebruikgemaakt van een vierpijpsysteem. Er is in het temperatuurrendement onderscheid gemaakt tussen verwarming en koeling. In gebouw C wordt gebruikgemaakt van vloerverwarming en -koeling. Per gebouwdeel wordt beslist of er warmte of koude wordt geleverd. Op vloerveldniveau is er een klep waardoor er wel of geen doorstroming van het betreffende vloerveld plaatsvindt. Per vloerveld is in gebouw C ook de mogelijkheid de aanvoer- en retourtemperatuur te meten. Figuur 1 laat resultaten zien van een vertrek met twee vloervelden. Daardoor kon het temperatuurrendement in



-Figuur 1- Temperatuurrendement voor drie gebouwen: gebouwen A en B: betonkernactivering; gebouw C: vloerverwarming/koeling (change-over per bouwdeel). Te betreft de buitentemperatuur. Voor gebouw B is het driedaags gemiddelde weergegeven. Het temperatuurrendement is op uurlijkse basis bepaald.



-Figuur 2- Filter voor faaldiagnose: temperatuurrendement groter dan 2 of kleiner dan -2

één vertrek tweemaal worden geëvalueerd. Wat kunnen we hieruit concluderen? In elk geval een zekere mate van generiek gedrag: in alle drie de gevallen is een min of meer constante waarde te zien die, gemiddeld genomen, net iets kleiner is dan 1. Verder zien we dat de bandbreedte rond het gemiddelde varieert per gebouw. Momentane waarden kunnen sterk afwijken van het gemiddelde. De bandbreedte heeft naar verwachting deels te maken met de vereenvoudiging die is toegepast door het watergerelateerde vermogen gelijk te stellen aan de afgifte aan de ruimte. Nader onderzoek zou uit kunnen wijzen wat de invloed is van aspecten als de middelingsperiode, de meetnauwkeurigheid et cetera. Wat de meetnauwkeurigheid betreft is de volgende filtering toegepast: figuur 1 bevat enkel data waarbij het temperatuurverschil tussen de aanvoer en retour groter is dan 1°C. De reden hiervan is de meetnauwkeurigheid van de sensoren zoals die in de praktijk vaak voorkomt. De samenhang tussen de meetnauwkeurigheid en een klein temperatuurverschil tussen de aanvoer en retour is natuurlijk wel een reden voor nader

onderzoek. Het kleine temperatuurverschil kan namelijk ook een gevolg zijn van faalgedrag.

■ FOUTEN DETECTEREN?

In het onderzoek is eerst de focus gelegd op de meer extreme afwijkingen in het temperatuurrendement, terwijl er wel sprake is van een significant temperatuurverschil tussen de aanvoer en retour (>1°C). Die afwijkingen zijn in elk geval interessant vanuit het oogpunt van faaldiagnose. Er is daarom een aantal situaties onderzocht door datafiltering op het temperatuurrendement toe te passen. Figuur 2 laat de filtering zien met betrekking tot het temperatuurrendement van de twee vloervelden voor gebouw C. Het interessante van de twee vloervelden is dat het ene vloerveld veel meer afwijkende datapunten geeft dan het andere vloerveld. Om hier verder een beeld van te krijgen, is de tijdsontwikkeling gedurende 24 uur in beeld gebracht (zie figuur 3, op de volgende pagina). De data in figuur 3 zijn geselecteerd op een grote afwijking tussen de gemeten aanvoertemperatuur van de watercircuits van de vloervelden 1 en 2. Hydraulisch

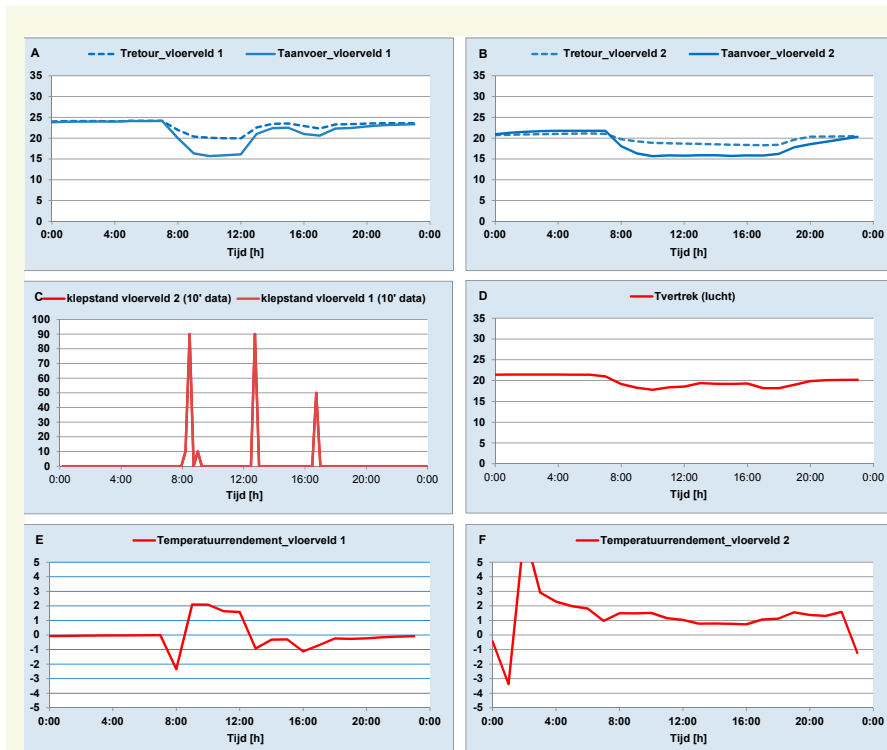
gezien halen de twee vloervelden water met dezelfde temperatuur uit eenzelfde subverdelers. In gebouw C wordt per gebouwdeel beslist of er warmte of koude nodig is. Per vloerveld wordt met een klep geregeld of er wel of geen sprake is van doorstroming.

Figuren 3A en 3B geven de aanvoer- en retourtemperaturen van de twee vloervelden. Figuur 3C geeft de klepstanden van beide vloervelden. Deze zijn (voor dit geval) aan elkaar gelijk. Figuur 3D geeft de gemeten luchttemperatuur van het vertrek. Deze is van toepassing op beide vloervelden. Figuren 3E en 3F geven de bijbehorende ontwikkeling in de tijd van het temperatuurrendement. Hierbij zijn alle situaties in beeld gebracht, ook de tijdstippen met een klein temperatuurverschil ($<1^{\circ}\text{C}$) tussen de aanvoer en retour (dit in tegenstelling tot figuur 2). Bij kleine temperatuurverschillen treden er grote fluctuaties op met betrekking tot het temperatuurrendement (zie bijvoorbeeld figuur 3F tussen 0 en 4 uur).

WHO (HAS) DONE IT?

Het potentiële faalgedrag – bij een significant temperatuurverschil tussen de aanvoer en retour – treedt op tussen 8 en 18 uur. Tussen 8 en 12 uur: de gemeten retourtemperatuur van vloerveld 1 is bijvoorbeeld hoger dan de vertrektemperatuur. De aanvoertemperatuur komt overeen met die van vloerveld 2 en is lager dan de ruimtetemperatuur (koelsituatie dus). De gemeten retourtemperatuur is dan fysisch lastig te verklaren. Het temperatuurrendement geeft een waarde groter dan 1,6. De vraag is dan: van welk soort faalgedrag is er sprake? Optie 1 is natuurlijk: een defecte temperatuursensor. Deze optie is minder waarschijnlijk: in de nachtperiode kruipen de gemeten aanvoer en retour, zonder doorstroming, naar elkaar toe (0 - 7 uur in figuur 3). De vervolgvraag is dan: welke temperatuur meet de sensor nu eigenlijk? Die vraag wordt urgenter als we kijken naar de temperaturen tussen 12 en 18 uur in figuur 3A. De aanvoertemperatuur van vloerveld 1 wijkt sterk af van die van vloerveld 2. Beide temperaturen zijn hoger dan de ruimtetemperatuur en dat terwijl het centrale waternet een temperatuur levert van 16°C . De vraag blijft dus ook hier: welke temperatuur wordt hier gemeten? De volgende stappen van de (nu nog handmatige) 'detective' waren de volgende:

- een check van de metingen van de luchttemperatuur. In gebouw C wordt ook de infraroodtemperatuur van de ruimte gemeten. Deze is vergeleken met de gemeten luchttemperatuur. De vergelijking gaf geen aanleiding om te veronderstellen dat de luchttemperatuur oorzaak was van de afwijking van het temperatuurrendement.



-Figuur 3- Voorbeeld van afwijkende situaties temperatuurrendement en faalgedrag

Ook de mogelijkheid van een opgewarmde constructie die het waternet verwarmt, wordt op basis van de infraroodtemperatuur onwaarschijnlijk geacht;

- een check van de ruimtetemperatuur van de omgeving van de sensor zelf. De sensor zelf 'hangt' ook ergens. Zou dit een verklaring kunnen zijn voor de hoge nachttemperatuur van de aanvoer en retour van vloerveld 1 (24°C van 0 - 8 uur)? Het antwoord is: hoogstwaarschijnlijk wel.

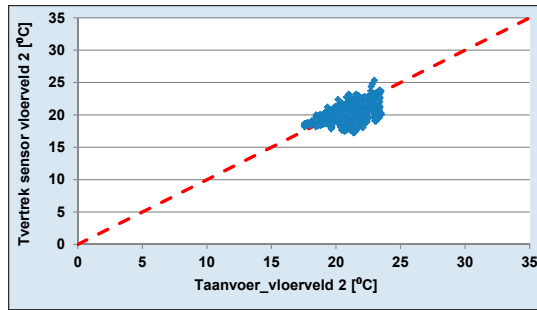
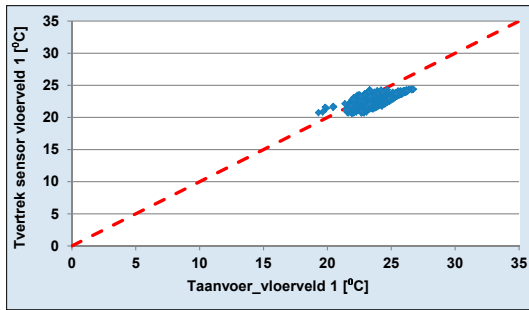
Figuur 4 relateert de gemeten aanvoertemperatuur van de vloervelden 1 en 2 met de temperatuur van de ruimte waar de sensor zich bevindt (boven het verlaagd plafond). De datafilter die is toegepast betreft: het gemeten temperatuurverschil tussen de aanvoer en retour is kleiner dan $0,2^{\circ}\text{C}$.

Voor vloerveld 1 is er een correlatie tussen de aanvoertemperatuur en de temperatuur van de ruimte waar de betreffende sensor zich bevindt. Voor vloerveld 2 is dat veel minder het geval. Een zelfde analyse voor de retourtemperatuur laat hetzelfde beeld zien. De temperatuursensoren van de aanvoer en retour worden voor vloerveld 1 dus danig beïnvloed door de omgeving waar ze hangen. Mogelijk zijn er op de positie van de sensoren nog andere warmtebronnen, bijvoorbeeld lampen, die

de relatief hoge temperaturen veroorzaken. Teruggaand naar figuur 3A: het is goed mogelijk dat van 12 tot 18 uur de omgeving van de sensor de meting domineert in plaats van het watercircuit. Dat maakt de volgende conclusie aannemelijk: er is op dat moment weinig tot geen doorstroming van het watercircuit, terwijl dat wel de bedoeling was. Flowmetingen op locatie en thermografische opnames zijn nodig om dit verder te onderzoeken.

MONTEUR OF E-DETECTIVE

Terug naar het hoofddoel (foutendiagnose): wat hebben we nu bereikt? We hebben met dit voorbeeld aangetoond dat door slim naar de responsie van de temperaturen en klepstanden te kijken je faalgedrag op het spoor kan komen. Waarden van het temperatuurrendement die sterk afwijken, corresponderen met faalgedrag. Natuurlijk kun je alles gaan meten (inclusief debiet doorstroming vloerveld), maar de uitdaging hierbij is faaldetectie met zo weinig mogelijk metingen voor elkaar te krijgen. We kunnen op deze wijze een flowmeter per vloerveld vermijden en op een gebouw met zo'n 15.000 m^2 heb je heel wat vloervelden. Vanwaar al deze moeite, zo zou men zich af kunnen vragen, je kunt er toch ook veel eerder een monteur naar toe sturen als er iets fout gaat? Ja, dat kan, maar dat is de con-



-Figuur 4- Gemeten temperatuur sensor gerelateerd aan de temperatuur van de ruimte waar de sensor zich bevindt

ventionele manier van werken. De uitdaging van Installaties 2020 is juist om installaties slimmer te maken en te komen tot automatische foutendiagnose en herstel. Uiteindelijk zal er altijd een fysiek iemand naartoe gaan, maar in plaats van alle vloervelden na te meten, kan er nu gericht gecheckt worden en kunnen acties worden ondernomen voor herstel.

CONCLUSIES

Met de praktijkanalyse hebben we – bij weten van de auteur – een behoorlijk unieke vondst gedaan: het gedefinieerde temperatuurrendement van vloervelden is binnen een zekere bandbreedte nagenoeg constant.

Met het gevonden temperatuurrendement is het mogelijk faalgedrag te detecteren. Punten die 'eruit springen' corresponderen inderdaad met afwijkende bedrijfssituaties en faalgedrag.

VERDER ONDERZOEK

Met de geanalyseerde casus hebben we een belangrijke stap gezet naar de ontwikkeling van automatische foutendiagnose voor vloervelden (e-Detective). Openstaande punten zijn onder andere nog:

- het relateren van het afwijkende temperatuurrendement aan concreet faalgedrag (zo concreet mogelijk);
- analyse van het mogelijke faalgedrag bij klein temperatuurverschil tussen aanvoer en retour van het watercircuit. Je kunt dan geen goede meting doen in verband met meetnauwkeurigheid van de sensoren. Echter, een klein temperatuurverschil kan juist veroorzaakt worden door faalgedrag. Is hier een oplossing voor te bedenken?;
- vertaling van de hier gedocumenteerde zoektocht naar algoritmes, zodat automati-

sering mogelijk is;

- testen van het faaldiagnoseconcept in andere praktijkcases.

LITERATUUR

1. Zwanenburg, H., Itard, L.C.M., RAAK PRO Installaties 2020, TVVL Magazine maart 2014
2. Wisse, C.J., Praktijkevaluatie thermisch comfort betonkernactivering, TVVL Magazine maart 2014
3. Wisse, C.J., de Wit, A.K., Gebruik van zones bij betonkernactivering, TVVL Magazine mei 2014
4. ISSO 85, Thermisch Actieve vloeren, Betonkernactivering, Stichting ISSO, maart 2011

smitsjet