



Het EC REMINING-lowex project in Heerlen, Nederland: de doorontwikkeling van een geothermisch mijnwater pilotproject naar een volwaardige duurzame hybride energie-infrastructuur, genaamd Mijnwater 2.0

Sleutelwoorden: Geothermische energie, mijnwater, smart grid voor verwarming en koeling, energieopslag.

SAMENVATTING

De afgelopen 10 jaar zijn er in Europa verschillende onderzoeksinitiatieven en commerciële initiatieven gelanceerd op het gebied van de ontwikkeling van laag-temperatuurbronnen in steenkoolbekkens. Een van de meest succesvolle initiatieven is het mijnwaterproject in Heerlen, Nederland, waar in oktober 2008 krachtens het Europese Interreg IIIB NWE-programma een laag-temperatuur-stadsverwarmingsysteem in werking werd gesteld. Andere projecten worden in Duitsland, Spanje, Frankrijk en Rusland uitgevoerd. Voortzetting van het onderzoek naar het gebruik van geothermische energie uit verlaten kolenmijnen is een van de doelstellingen van het 6e *Framework Program project EC remining-lowex* (De herontwikkeling van Europese kolenwingsgebieden in duurzame gemeenschappen door de integratie van vraag en aanbod op basis van low-exergy principes). Aan dit project werken vier gemeentes uit Nederland, Slovenië, Polen en Bulgarije mee. De belangrijkste doelstelling van het project is aantonen dat plaatselijk beschikbare, laagwaardige, hernieuwbare energiebronnen, in het bijzonder water uit verlaten kolenmijnen, voor de verwarming en koeling van gebouwen geschikt zijn. Het systeem is gebaseerd op low-exergy principes en wordt mogelijk gemaakt door een volledig geïntegreerd ontwerp van gebouwen, gebouwinstallaties en energieconversie principes. In het mijnwaterproject in Heerlen is men momenteel bezig met de transformatie van een eenvoudig pilot systeem naar een volwaardig intelligent energienet voor verwarming en koeling van gebouwen met een hybride duurzame energieinfrastructuur, genaamd Mijnwater 2.0. In 2013-2014 worden er vier nieuwe aansluitingen gerealiseerd. In 2015 zal er in totaal 500.000 m² vloeroppervlak met behulp van mijnwater worden verwarmd of gekoeld, wat voor deze aansluitingen zal resulteren in een CO₂-

emissiereductie van 65%. Het Mijnwater 2.0 systeem wordt een essentieel onderdeel van het duurzame energiestructuurplan 2040 van de gemeente Heerlen en heeft de volgende kenmerken:

- De toepassing van clusternetwerken voor warmte en koude uitwisseling tussen gebouwen.
- De toepassing van het mijnwaternetwerk voor de uitwisseling van warmte en koude tussen clusternetwerken en de aan- en afvoer van warmte en koude van en naar de mijnreservoirs.
- Meervoudige opwekking zoals: bio-WKK en zonne-energie (opgewekt met behulp van PV-cellen en thermische zonne-energie), plaatselijk beschikbare industriële restwarmte en koeltorens voor piekkoeling.
- Uitbreiding van de hydraulische en thermische capaciteit van het mijnwaternetwerk door het vergroten van de bronpompen, het toepassen van drukverhogingssystemen en hergebruik van de bestaande mijnwaterretourleiding voor extra aan- en afvoer van warm mijnwater.
- Volledig geautomatiseerde en vraaggestuurde, dubbelwerkende levering van warmte en koude naar gebouwen door het gebruik van drukbuffersystemen bij de onttrekkingsbronnen en geavanceerde injectiekleppen bij de infiltratiebronnen

Alle mijnwaterinstallaties (gebouwen, clusters, putten) zijn uitgerust met geavanceerde regelinstallaties die onderling en met een centraal monitoringsysteem (CMS) via internet communiceren. Het CMS is de controle kamer van waaruit alle geografische verspeide subsystemen worden benaderd, gevisualiseerd, gemonitord en aangestuurd. Een dergelijke toepassing is een absolute noviteit in de gebouwde omgeving. De ontwikkeling van de Mijnwater 2.0 structuur is in volle gang. De

ontwikkeling vindt plaats op basis van een gezond bedrijfsplan, waarbij het mijnwaterbedrijf concurrerende aanbiedingen aan gebouwigenaren kan doen, die vervolgens op basis van een kosten/batenanalyse kunnen besluiten of het voor hen rendabel is om hun gebouwen op het mijnwatersysteem aan te sluiten.

In het tweede kwartaal van 2013 zal het eerste cluster met twee nieuwe gebouwaansluitingen klaar zijn.

1. INTRODUCTIE

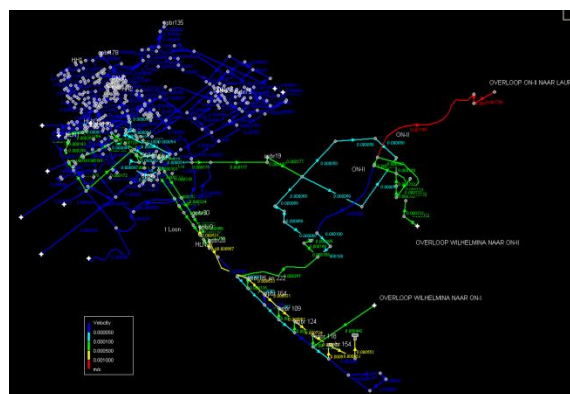
De afgelopen 10 jaar zijn er in Europa verschillende onderzoeksinitiatieven en commerciële initiatieven gelanceerd op het gebied van de ontwikkeling van laag-temperatuurbronnen in steenkoolbekkens. Een van de meest succesvolle initiatieven is het mijnwaterproject in Heerlen, Nederland, waar in oktober 2008 krachtens het Europese Interreg IIIB NWE-programma een laag-temperatuurstadsverwarmingsysteem in werking werd gesteld. Andere projecten worden in Duitsland, Spanje, Frankrijk en Rusland uitgevoerd. Voortzetting van het onderzoek naar het gebruik van geothermische energie uit verlaten kolenmijnen is een van de doelstellingen van het 6e Framework Program project EC remining-lowex (De herontwikkeling van Europese kolenwingsgebieden in duurzame gemeenschappen door de integratie van vraag en aanbod op basis van low-exergy principes). Aan dit project werken vier gemeentes uit Nederland, Slovenië, Polen en Bulgarije mee. De belangrijkste doelstelling van het project is aantonen dat plaatselijk beschikbare, laagwaardige, hernieuwbare energiebronnen, in het bijzonder water uit verlaten kolenmijnen, voor de verwarming en koeling van gebouwen geschikt zijn. Het systeem is gebaseerd op low-exergy principes en wordt mogelijk gemaakt door een volledig geïntegreerd ontwerp van gebouwen, gebouwinstallaties en energieconversie principes.

2. MIJNWATER 1.0

Mijnwater 1.0 is de term die we gebruiken voor het mijnwater pilotsysteem in Heerlen, dat in de periode 2003-2008 werd ontwikkeld. Het was een eenvoudig proefsysteem om te onderzoeken hoe het mijnwater van de oude Oranje Nassau kolenmijn als geothermische bron voor de duurzame, low-exergy verwarming en koeling van gebouwen zou kunnen worden gebruikt.

Er werden vijf putten (bronnen) in de ondergrondse steengalerij (aan)geboord. Twee warme bronnen in het noordelijke deel van Heerlen op een diepte van 700 meter onder maaiveld voor de winning van warm water met een temperatuur van ongeveer 28°C, en twee koude bronnen in het zuidelijke deel van Heerlen

op een diepte van 250 meter voor de winning van koud mijnwater met een temperatuur van ongeveer 16°C. Een vijfde bron er tussen in met een diepte van 350 meter wordt gebruikt voor het injecteren van afgekoeld warm en opgewarmde koud retour mijnwater met intermediaire temperaturen variërend tussen 18-22°C. Afbeelding 1 toont het 3-D model van de mijnwaterreservoir. Het model is gebaseerd op de oorspronkelijke mijnkaarten. Om het respons van het reservoir op het onttrekken of opslaan van warm en koud water te kunnen inschatten moet immers rekening gehouden worden met de gedetailleerde geometrie van de steengangen, galerijen en schachten. Het huidige model weerspiegelt de status en de verworven kennis tot medio 2012. Het is gekalibreerd op basis van pomptesten die zijn uitgevoerd in de vroege stadia van het project en data van de recentelijk productieperiodes van warm en koud mijnwater.



Afbeelding 1. Een 3D-model van de ondergrondse geometrie van de mijnen met een overzicht van de stromingspatronen en de oorspronkelijke temperatuurcondities (VITO).

Met behulp van een drie-pijps mijnwaterdistributienetwerk van zeven kilometer lang, de zogenaamde 'backbone' of hoofdleiding, wordt het mijnwater van de bronnen aan de energiecentrales van de aangesloten gebouwen geleverd. Een leiding voor de levering van warm mijnwater (geïsoleerd) uit de warme bronnen HH1 en HH2, een leiding voor de levering van koud mijnwater (niet-geïsoleerd) uit de koude bronnen HLN1 en HLN2, en een retourleiding (niet-geïsoleerd) om het gebruikte mijnwater (warm en koud) naar de infiltratiebron HLN3 te transporteren. Energie-uitwisseling in de energiecentrale van de eindgebruikers vindt plaats door middel van warmtewisselaars. Het warme mijnwater wordt afgekoeld met 10°K en het koude mijnwater wordt opgewarmd met 6°K.

Tot 2012 was een warme bron HH1, een koude bron HLN1 en de retour injectiebron HLN3 in werking waarbij aan twee eindgebruikers warmte en koude werd geleverd:

- Kantoor van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS; 22.000 m²)

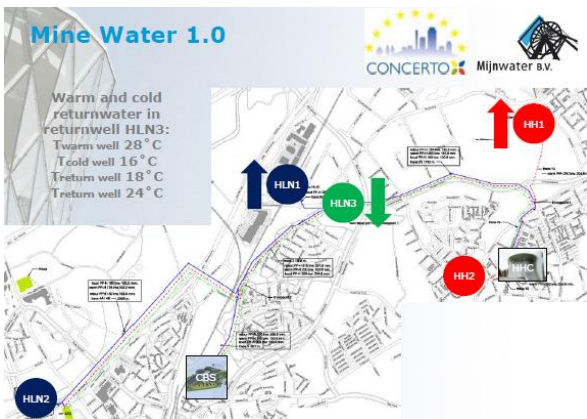
- Complex Heerlerheide Centrum (HHC, woningen, supermarkt, kantoren, gemeenschappelijke voorzieningen, horeca, 30.000 m²).

In elk gebouw worden warmtepompen gebruikt om de basislast aan warmte en koude te leveren met de gevraagde low-exergy afgiftetemperaturen.



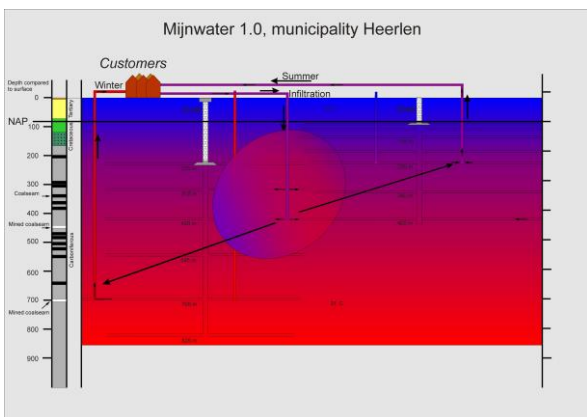
Afbeelding 2. De energiecentrale bevindt zich in de kelder van het cultuurcluster in Heerlerheide Centrum (HHC).

Afbeelding 3 toont het Mijwater 1.0 systeem in geografisch perspectief.



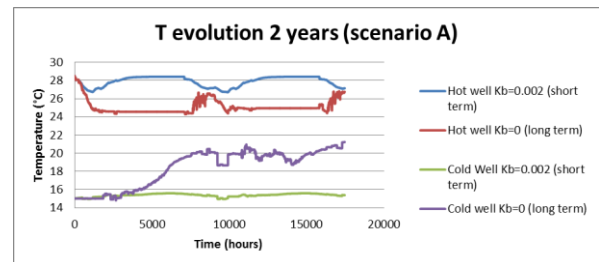
Afbeelding 3. Mijwater 1.0 in geografisch perspectief.

Afbeelding 4 toont op schematische wijze het typische stromingspatroon van het Mijwater 1.0 systeem.



Afbeelding 4. Schematische weergave van het stromingspatroon in het Mijwater 1.0 systeem.

Het huidige numerieke model houdt rekening met warmteoverdracht door advectie, het mengen van water met verschillende temperaturen en warmtegeleiding (uitwisseling van warmte tussen gesteente en water). Wanneer de verschillende delen van het reservoir periodiek mogen rusten, lijken de verstoringen volgend op de injectie of productie door geleidingseffecten in evenwicht te worden gebracht (Afbeelding 5, geleidingsfactor $K_b = 0,002$). Echter, in de Mijwater 1.0-bedrijfsmodus wordt er water met tussenliggende temperaturen naar de HLN3 put teruggevoerd. Dit zal gevolgen hebben voor de duurzame productie van warm water bij HH1 en zeker voor de productie van koud water uit HLN1, die kort bij de HLN3 put gelegen is. Kortom, wanneer er waterstromen met afwijkende temperaturen op één enkele plaats worden geïnjecteerd, zal het reservoir geleidelijk aan homogeniseren. De warme buffer bij HH2 en de koude buffer bij HLN2 zijn in dit geval onvoldoende om op lange termijn de temperatuurverstoring te compenseren. Om dit effect te verduidelijken, toont Afbeelding 5 een scenario waarin de geleidingsfactor nul ($K_b = 0$) is. Dit scenario vertegenwoordigen een extreme situatie. In de praktijk zien we dat het gebruik van de HLN3 put een belangrijke parameter is die de werking van het mijnwater minder aantrekkelijk maakt voor energie-efficiënte toepassingen..



Afbeelding 5. Temperatuurverloop van de warme (HH1) en koude (HLN1) productieputten voor verschillende geleidingscoëfficiënten (VITO).

Andere beperkingen van het Mijwater 1.0 systeem zijn:

- Beperkte hydraulische en thermische capaciteit;
- Niet energievraag gestuurd (eenvoudig omschakelsysteem):
 - in de zomerperiode van april tot en met september alleen koude levering;
 - in de winterperiode van oktober tot en met maart alleen warmte levering;
- Geen mogelijkheid om warmte en koude uit te wisselen tussen gebouwen.

3. MIJNWATER 2.0

Mijwater 2.0 geeft aan dat het mijnwaterproject in Heerlen momenteel wordt getransformeerd naar een volwaardige zo genaamde smart grid voor verwarming en koeling, of met andere woorden, de ontwikkeling van een duurzame hybride energieinfrastructuur met een gezond bedrijfsplan. Een intelligent warmte-/koudenetwerk en een hybride energiestructuur houdt

in dat er vraaggestuurd warmte en koude wordt geleverd en geïnjecteerd, dat warmte en koude wordt hergebruikt en dat warmte en koude wordt uitgewisseld tussen gebouwen. Dit in combinatie met meervoudige opwekking van warmte en koude uit andere (alternatieve) bronnen.

In 2013-2014 zullen er 4 nieuwe aansluitingen worden gerealiseerd. Het streven voor 2015 is dat er in totaal 500.000 m² vloeroppervlak met behulp van mijnwater zal worden verwarmd of gekoeld. Dit zal resulteren in een CO₂-emissiereductie van 65% voor deze aansluitingen voor verwarming en koeling. Het Mijnwater 2.0 systeem zal ook een essentieel onderdeel worden van het duurzame energiestructuurplan van de gemeente Heerlen, dat vooruitkijkt tot 2040.

Om dit te bereiken en om de beperkingen van het Mijnwater 1.0 systeem te ondervangen is er in 2012 een totaal nieuw concept Mijnwater 2.0 ontwikkeld, dat gebaseerd is op:

- Energie-uitwisseling in plaats van energie levering;
- Energieopslag in mijnwater reservoirs in plaats van uitputting;
- Toevoeging van meervoudige energieopwekking aan het systeem;
- Het maximaliseren van de hydraulische en thermische capaciteit (reservoirs, putten en distributienetwerk);
- Een volledig automatisch vraaggestuurd systeem (warmte en koude kunnen leveren op elk gewenst moment).

3.1 Energie-uitwisseling, opslag en regeneratie van de mijnwater reservoirs

Energie-uitwisseling zal worden gerealiseerd door middel van:

- Plaatselijke clusternetwerken voor directe energie-uitwisseling (warmte en koude) tussen de aangesloten gebouwen in het cluster;
- Toepassing van de bestaande mijnwater-backbone voor de uitwisseling van energie (warmte en koude) tussen de geografisch verspreide clusternetwerken.

Een belangrijk voordeel van clusternetwerken is, dat dit gesloten systemen zijn gevuld met schoon water. In clusternetwerken zijn er geen speciale materialen nodig die bestand zijn tegen het corrosieve mijnwater, zoals roestvrij staal (AISI 316) of kunststof (PE of PP). De toepassing van koolstof staal en een eenvoudige waterbehandeling zijn voldoende. Dit betekent een belangrijke kostenbesparing bij de realisatie van clusternetwerken.

Energie-opslag

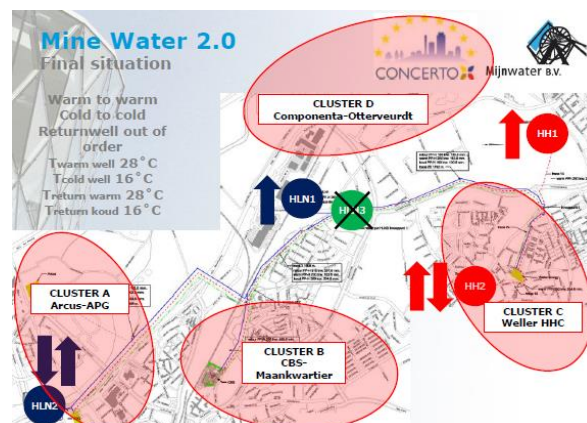
De productieputten (HH1 en HLN1) leveren het tekort aan warmte en koude aan de mijnwater-backbone. Het overschot aan warmte en koude wordt opgeslagen in de aangesloten mijnwaterreservoirs door middel van de infiltratiebronnen (HH2 en HLN2). De huidige retour/infiltratiebron HLN3 zal buiten werking worden gesteld en zal alleen in uitzonderlijke situaties worden gebruikt.

Regeneratie

Mijnwater 2.0 moet toekomstbestendig zijn. Ongewenste intermediaire retourtemperaturen zoals in het Mijnwater 1.0 systeem veroorzaken uitputting van de mijnwaterreservoirs. Om dit effect te elimineren is het noodzakelijk dat het gebruikte retour mijnwater voldoende naar de natuurlijke geothermische temperatuur wordt opgewarmd of afgekoeld en getransporteerd naar de corresponderende warme of koude zone van het reservoir. Het is tevens van belang dat er bij de warmte- en koude- onttrekking en infiltratie energiebalans wordt nagestreefd. Met andere woorden: het is belangrijk dat de mijnwaterreservoirs, bij voorkeur op jaarbasis, worden geregenereerd.

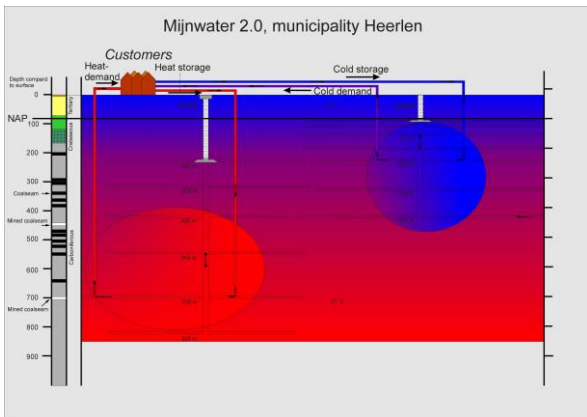
Bepalend voor de juiste temperatuur van het retourwater naar de mijnwaterreservoirs is de werking van de energiecentrales van de eindgebruikers. Zij dienen ervoor te zorgen dat het warme mijnwater voldoende wordt afgekoeld (<16°C) en het koude mijnwater voldoende wordt opgewarmd (> 28°C). Deze voorwaarde wordt als bepaling opgenomen in het contract met de eindgebruikers van het mijnwater.

Afbeelding 6 toont de eindsituatie van Mijnwater 2.0.



Afbeelding 6. De eindsituatie van Mijnwater 2.0.

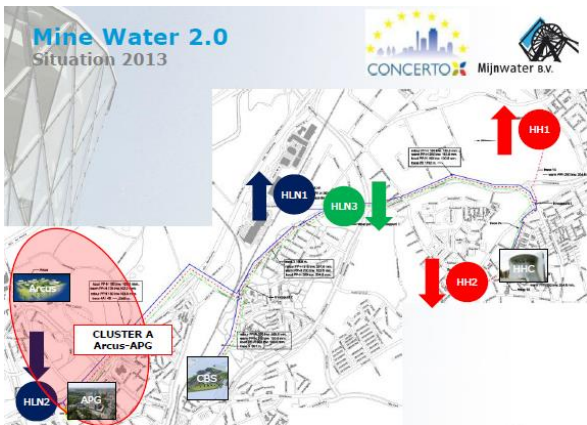
Afbeelding 7 toont op een schematische manier het verbeterde stromingspatroon van het Mijnwater 2.0 systeem.



Afbeelding 7. Schematische weergave van het stromingspatroon binnen het Mijwater 2.0 systeem.

Met dit stromingspatroon vindt er vrijwel geen uitwisseling tussen het warme en koude deel van het reservoir plaats en ontstaat er op termijn een warme en een koude bel die de nuttige energie-inhoud van het mijnwaterreservoir vergroot.

Afbeelding 8 toont de momentane status van het Mijwater 2.0 project.



Afbeelding 8. Status van het Mijwater 2.0-project zoals momenteel uitgevoerd.

In 2013 zullen er twee nieuwe aansluitingen worden gerealiseerd:

- Het bestaande gebouw van APG, dat achteraf low-exergy is gerenoveerd (32.000 m²);
- Het nieuw gebouwde low-exergy schoolgebouw van het Arcus College (30.000 m²).

APG is een pensioenfonds dat een datacenter bezit. Er zal een warmtepomp voor de koeling van het datacenter worden ingezet, waarmee het gebouw wordt verwarmd. Additioneel zal 15.000 GJ restwarmte per jaar aan het nieuwe clusternetwerk A worden geleverd voor warmte-uitwisseling met andere gebouwen in het cluster of andere (toekomstige) clusters en gebouwen die op de mijnwater-backbone zijn aangesloten. APG zal een totale CO₂-reductie realiseren van 118% ten opzichte van de bestaande situatie, hetgeen uitzonderlijk is voor een gebouw uit 1974.

Het nieuw gebouwde Arcus College beschikt over warmtepompen voor levering van de basis warmte en koudelast. Ten opzichte van traditionele verwarming

en koeling met aardgasketels en elektrische koelmachines wordt een CO₂-reductie bereikt van 45%.

De bestaande aansluitingen CBS en HHC zullen in de nabije toekomst deel gaan uitmaken van de in ontwikkeling zijnde clusters B en C. Tot dan zullen zij het gebruikte mijnwater afvoeren naar HLN3. Er zullen tijdelijke voorzieningen worden aangebracht om de gebouwen in het Mijwater 2.0 systeem te integreren.

3.2 Meervoudige energie-opwekking

We onderkennen dat de warmte en koude capaciteit van het mijnwatersysteem beperkt is. Voor het realiseren van de doelstellingen van het duurzame energiestructuurplan van de gemeente Heerlen is een combinatie van mijnwater met andere duurzame energiebronnen vereist, zoals biomassa, zonne-energie en restwarmte. De mijnwaterstructuur (de backbone en de clusternetwerken) is het medium om deze energiebronnen aan gebouwen te leveren, met andere woorden: Mijwater 2.0 is/zal een hybride energiestructuur worden, een echt intelligent netwerk voor verwarming en koeling.

Veel initiatieven zijn reeds in beeld of in ontwikkeling, zoals bio-WKK, een gesloten kas en de restwarmte van een nieuw datacenter. Al deze energiebronnen zijn lokaal en zullen met het dichtstbijzijnde cluster worden verbonden om hun warmte, koude en/of elektriciteit aan het betreffende cluster te leveren en/of via de mijnwater-backbone aan andere clusters. Cluster D zal voornamelijk een zelfvoorzienend cluster worden voor warmte-uitwisseling tussen een metaalgietery en een zwembad.

Naast deze mogelijkheden zijn er andere meervoudige energieopwekking principes in beeld, zoals de inzet van koeltorens binnen de clusters voor piekkoeling.

3.3 Maximalisatie van de hydraulische en thermische capaciteit van het mijnwatersysteem

Beperkingen in het mijnwatersysteem kunnen zich op drie niveaus voordoen:

- De temperatuur, stroming en opslagcapaciteit van de mijnwaterreservoirs;
- Onttrekkingscapaciteit van de mijnwaterbronnen;
- Capaciteit van het mijnwaterdistributienet, de zogenaamde mijnwater-backbone.

Momenteel wordt de hydraulische capaciteit beperkt door de mijnwater-backbone, vooral de leiding voor transport van warm mijnwater. In de nabije toekomst zal de retourleiding naar de injectiebron HLN3 niet langer meer nodig zijn. Die leiding zal dan worden gebruikt voor de aan- en afvoer van extra warm mijnwater om de hydraulische mijnwatercapaciteit te vergroten.

De huidige backbone heeft een maximale levercapaciteit van 180 m³/h voor warm mijnwater,

en van 280 m³/h voor koud mijnwater. Er wordt extra thermische capaciteit verkregen, omdat het warme mijnwater met $\geq 12\text{K}$ zal worden afgekoeld, in plaats van met 10K, en het koude water zal worden opgewarmd met meer dan 12K in plaats van momenteel met 6K.

Door de temperatuur van het warme mijnwater door middel van meervoudige energie-opwekking te verhogen kan het thermisch vermogen van de mijnwater-backbone zelfs nog meer worden verhoogd.

Ook de hydraulische capaciteit van de mijnwater-backbone kan worden verhoogd door de installatie van extra leidingen of door het vervangen van leidingen met een grotere diameter. De volgende beperking die dan zal optreden is de capaciteit van de bronnen. Er dient een onderscheid te worden gemaakt tussen de onttrekking- en infiltratiecapaciteit van de bronnen. De infiltratiecapaciteit is veel groter dan de onttrekkingcapaciteit, omdat er tijdens infiltratie statische druk vrijkomt, terwijl er bij de onttrekking statische druk moet worden overwonnen. Voor de onttrekkingcapaciteit de afhangdiepte van de productiepomp bepalend. Hoe diep de pomp kan hangen, wordt bepaald door de binnendiameter van de verbuizing. Voor injectie is de dimensionering van de injectieklep het meest bepalend.

De warme bron HH1 en koude bron HLN1 zijn enkel bedoeld om mijnwater op te pompen. De warme bron HH2 en koude bron HLN2 zijn bedoeld als om op termijn in 2 richtingen te werken: voor het productie en de injectie van mijnwater. In de eerste fase van het Mijnwater 2.0 project, dat momenteel wordt gerealiseerd, worden HH2 en HLN2 alleen uitgevoerd als infiltratiebronnen.

De warme bronnen HH1 en HH2 hebben ieder een maximale onttrekkingcapaciteit van 120 m³/h. De koude bronnen HLN1 en HLN2 hebben ieder een maximale onttrekkingcapaciteit van 230 m³/h. De injectiecapaciteit van HH2 en HLN2 is afhankelijk van de keuze van de infiltratiekleppen 230 m³/h of meer.

In de eerste fase van het Mijnwater 2.0 project, dat in juni 2013 gereed komt zijn de volgende maatregelen genomen om de hydraulische capaciteit van de mijnwater-backbone te maximaliseren:

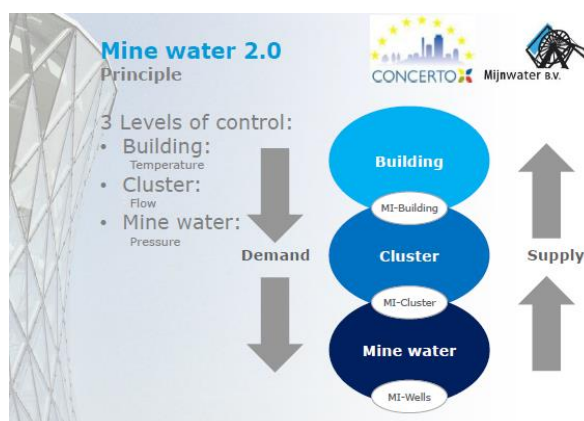
- Vervanging van de bronpompen van de warme productiebron HH1 (120 m³/h in plaats van 50 m³/h) en van de koude productiebron HLN1 (230 m³/h in plaats van 80 m³/h);
- Drukverhogingssysteem bij de productiebronnen HH1 en HLN1 om de distributiedruk tot max. 12 bar te verhogen;
- Hergebruik van de bestaande mijnwaterretourleiding voor extra aan- en afvoer van warm mijnwater van en naar het warme mijnwaterreservoir (nabije toekomst). Er wordt

een verbinding gerealiseerd tussen de bestaande warme en retourmijnwaterleiding;

- Gesloten clusternetwerk A voor de nieuwe aansluitingen (Arcus en APG) met frequentie geregelde transportpompen in ieder gebouw voor energie-uitwisseling tussen de gebouwen in het cluster en de mijnwater-backbone;
- Boosterpompen aan de mijnwaterzijde voor energie-uitwisseling tussen de mijnwater-backbone en het cluster netwerk A en transport naar:
 - Een ander cluster (toekomst) voor energie-uitwisseling;
 - De bestaande aansluitingen CBS en HHC voor energielevering (tijdelijk);
 - De infiltratiebronnen voor ondergrondse opslag van energie in de mijnwaterreservoirs;
- Toepassing van geavanceerde injectiekleppen bij de warme infiltratiebron HH2 en bij de koude infiltratiebron HLN2.

3.4 Volautomatisch en vraaggestuurd

Het Mijnwatersysteem 2.0 is volledig automatisch en vraaggestuurd, met 3 besturingsniveaus, zoals Afbeelding 9 laat zien.



Afbeelding 9. Visualisatie van de drie regelniveaus.

Alle gebouwen (eerste niveau) zijn verbonden met een clusternetwerk (tweede niveau). Verschillende clusters worden aangesloten op de mijnwater-backbone en reservoirs (derde niveau). Op elk niveau (gebouw, cluster, mijnwater) ontstaat een netto warmte- of koudevraag. De gebouwen bepalen de vraag van het cluster. Het cluster voorziet in de vraag van de gebouwen. De clusters bepalen de vraag van de mijnwater-backbone. De mijnwater-backbone en de mijnwaterbronnen voorzien in de vraag van de clusters. Warmte en koude uitwisseling op het raakvlak tussen de niveaus vindt plaats met autonome onderstations (MI = Mijnwater Installatie). Elk niveau werkt met een andere procesbesturingsparameter:

- MI-Gebouw: Temperatuur;
- MI-Cluster: Volumestroom;
- MI-Bronnen: Druk.

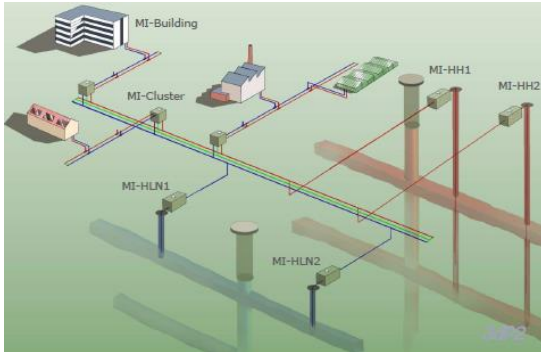
Een eenvoudig principe, dat nieuwe praktische oplossingen vereist. Hoe het werkt, zie hoofdstuk 4.

4. HOE HET WERKT

Afbeelding 10 toont een animatie van Mijnwater 2.0 in 3-D perspectief.

De drie besturingsniveaus zijn goed te onderscheiden:

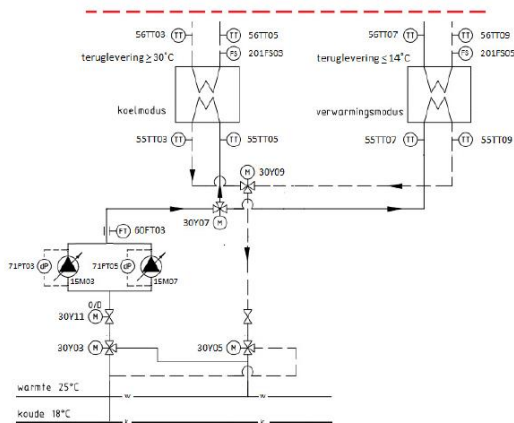
- MI-Gebouw
- MI-Cluster;
- MI-Bronnen (HH1, HH2, HLN1 & HLN2).



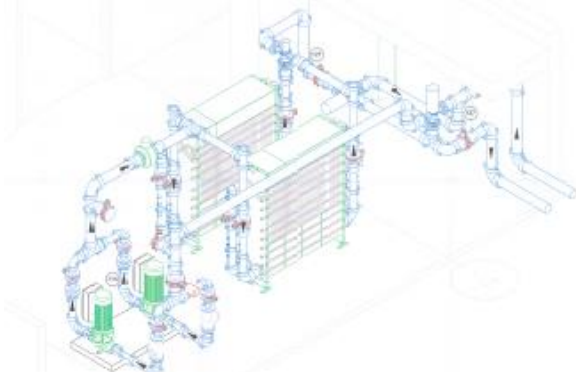
Afbeelding 10. Animatie Mijnwater 2.0 in 3-D perspectief.

4.1 MI-gebouw

Afbeelding 11 en 12 tonen het principe en een isometrische afbeelding van het MI-gebouw, dat warmte en koude aan de HVAC-installatie van het gebouw levert.



Afbeelding 11. Principe schema MI-gebouw



Afbeelding 12. Isometrische afbeelding van het MI-gebouw.

Frequentiegeregelde pompen en 3-weg kleppen leveren warm of koud water uit het clusternetwerk aan de warmtewisselaar voor verwarming en koeling.

Moderne HVAC-gebouwinstallaties zijn op een zodanige wijze ontworpen dat warmte en koude tegelijk kan worden geleverd (bijvoorbeeld bij een warmtevraag aan de noordgevel en een koudevraag aan de zuidgevel). Met een warmtepomp is het mogelijk de onttrokken warmte tijdens koelen onmiddellijk voor verwarmen te hergebruiken.

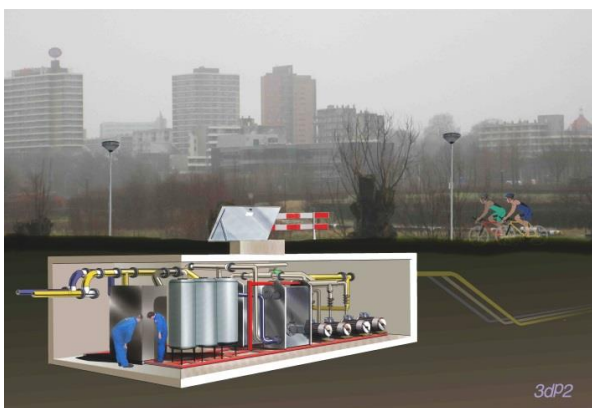
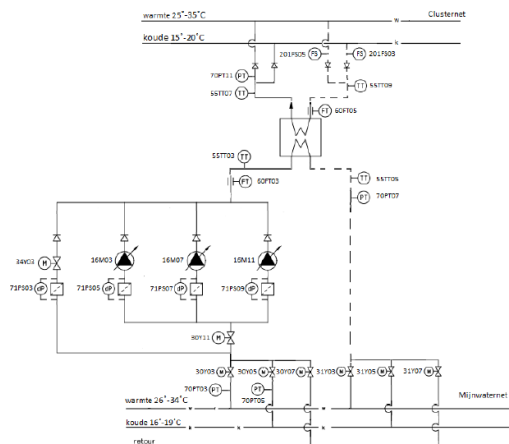
Voor de procesbesturing zijn er warme en koude buffertanks nodig, die ook gedurende een langere periode voor warmte- en koudeopslag kunnen worden gebruikt. In het voorjaar en het najaar bijvoorbeeld kan, de koude die in de ochtend door de warmtepompen tijdens het opwarmen van het gebouw wordt geproduceerd, worden gebruikt voor het koelen van het gebouw in de namiddag of vice versa. Er zal echter altijd een netto warmte- of koudevraag zijn die door het clusternetwerk wordt geleverd. **De capaciteit van de warmtewisselaar van de mijnwaterinstallatie wordt op temperatuur geregeld.** Dit kan de uitgaande temperatuur aan de primaire (cluster) of secundaire (gebouw) zijde zijn, afhankelijk van de wensen van het HVAC-systeem van het gebouw.

De mijnwaterinstallatie (warmtewisselaar) werkt volledig autonoom met selectieve signaaluitwisseling tussen de mijnwaterinstallatie en het HVAC-regelsysteem van het gebouw. Dit is een belangrijke voorwaarde voor de scheiding van de operationele verantwoordelijkheden tussen de mijnwater- en de gebouwinstallatie. De oorzaak en locatie van eventuele storingen dient eenduidig te indentificeren zijn. Hiertoe worden ook de temperaturen aan de secundaire (gebouw-) zijde van de warmtewisselaar gemeten.

Voor energie-uitwisseling binnen het cluster en ook voor de afvoer van warmte en koude naar de mijnwaterreservoirs is het van groot belang dat de retourtemperaturen van de gebouwinstallatie naar het clusternetwerk aan de eisen van het warme en koude mijnwaterreservoir voldoen. Dit is $> 29^{\circ}\text{C}$ voor warme retourstromen tijdens koeling en $< 15^{\circ}\text{C}$ voor koude retourstromen tijdens verwarmen. Hiervoor is het nodig dat de gebouwinstallatie een voldoende hoge ($> 30^{\circ}\text{C}$ (koeling)) of lage temperatuur ($< 14^{\circ}\text{C}$ (verwarming)) levert aan de warmtewisselaar van de mijnwaterinstallatie, hetzij passief of actief (warmtepomp) opgewekt. Om een zo hoog mogelijk rendement van de warmtepompen te kunnen halen worden de warmtewisselaars ontworpen op een zeer klein temperatuurverschil van 1°K tussen de primaire en de secundaire zijde. Moderne warmtepompen die worden gevoed met warm mijnwater kunnen een COP van 5 tot wel 7 bereiken, afhankelijk van de gewenste afgiftetemperaturen voor verwarming en koeling van het gebouw.

4.2 MI-Cluster

Afbeelding 13 en 14 tonen het principe en de 3-D animatie van de mijnwaterinstallatie van het nieuw gebouwde cluster A.



Afbeelding 13 en 14. Het principe en de 3-D animatie van de mijnwaterinstallatie van het cluster.

In de MI-Cluster worden warmte en koude tussen het clusternetwerk en de mijnwater-backbone uitgewisseld. De MI-Cluster bevindt zich in het openbare gebied en is geplaatst in een ondergrondse prefab-kelder. In verband met kostenefficiëntie wordt een standaard prefab-betonkelder en een prefab-installatie op skid toegepast. De installatieskid wordt in de kelder geplaatst voordat de betonnen deksel wordt aangebracht. MI-Cluster A is geplaatst in de grootste standaard prefab betonkelder die in Nederland verkrijgbaar is, LXBXH = 11x4x2.6m. Afbeelding 15, 16 en 17 tonen de plaatsing van het MI-Cluster op 7 februari 2013.



Afbeelding 15, 16 en 17. Het MI-Cluster A wordt geplaatst.

Het ontwerp van het MI-Cluster was een uitdaging. Behalve dat deze ondergronds moest worden geplaatst, moest deze ook compact zijn om in grootste beschikbare prefab kelder te passen. Dat vereiste een slim ontwerp:

1. Er werden geen pompen voorzien aan de netwerzijde van het cluster. De transportpompen van de MI-Gebouwen voorzien hierin;
2. Een ingenieus systeem van terugslagkleppen aan de clusterzijde zorgt ervoor dat het clusterwater (warm of koud) de warmtewisselaar altijd op dezelfde wijze doorstroomt. Dubbelwerkende volumestroommeters en automatische afsluiters zijn niet meer nodig. Twee flow switches detecteren of verwarming of koeling vereist is;

3. De warmtewisselaars (twee met een optie voor een derde) zijn dubbelwerkend voor de levering van warmte en koude;
4. De boosterpompen (drie met een optie voor een vierde) aan de mijnwaterzijde zijn dubbelwerkend voor de levering van warmte en koude;
5. Kleppen aan de mijnwaterzijde zorgen ervoor dat het mijnwater (warm of koud) de warmtewisselaars altijd op dezelfde wijze doorstroomt.

In het clusternetwerk wisselen de MI-Gebouwen eerst warmte en koude uit. De netto warmte of koude stroom gaat naar de warmtewisselaar van de MI-Cluster. Wanneer er verwarming nodig is onttrekken boosterpompen aan de mijnwaterzijde van het MI-Cluster mijnwater uit de warme mijnwaterleiding. Het koude retourmijnwater wordt vervolgens in de koude mijnwaterleiding van de mijnwater-backbone geperst. Voor koeling wordt het proces omgekeerd. **De boosterpompen worden geregeld op volumestroom.** De stroming aan de zijde van het mijnwater moet gelijk zijn aan de gemeten netto volumestroom aan de clusterzijde van de warmtewisselaar voor een optimale warmte- en koude-uitwisseling.

Een andere functie van de boosterpompen is om het gebruikte retourmijnwater in de tegenovergestelde mijnwaterleiding te persen voor transport naar:

- Een ander clusternetwerk (in de toekomst) voor de uitwisseling van energie;
- Energielevering aan de bestaande gebouwen CBS en HHC (tijdelijk);
- De infiltratiebronnen voor de ondergrondse opslag van energie in de mijnwaterreservoirs

De boosterpompen kunnen als extra drukverhogingssysteem worden beschouwd ter vergroting van de hydraulische capaciteit van de mijnwater-backbone.

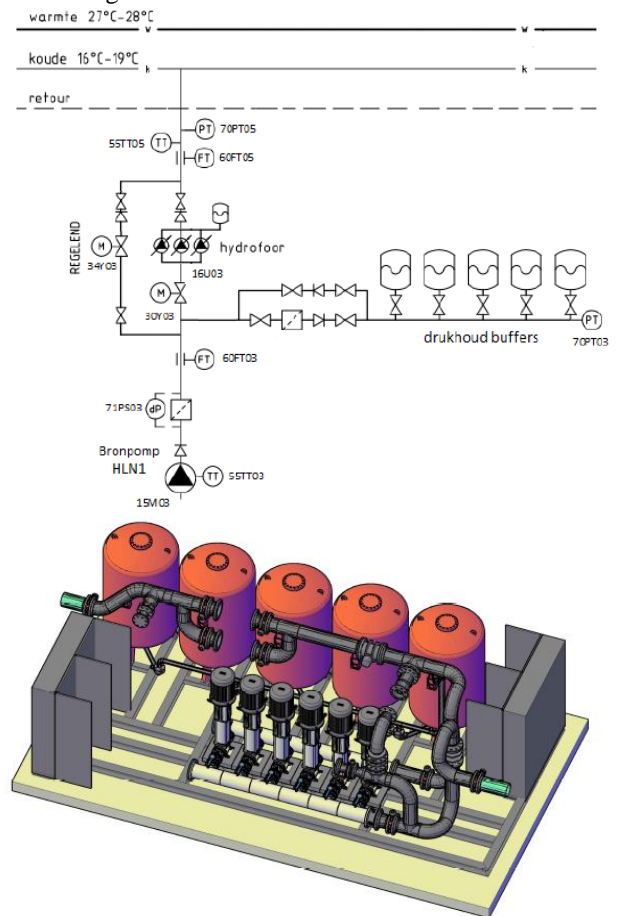
4.3 MI-Bronnen

Zoals in de geografische kaarten is aangegeven (figuur 6 en 8) zijn er twee onttrekkingsbronnen (warm HH1; koud HLN1) en twee infiltratiebronnen (warm HH2; koud HLN2). De infiltratiebronnen zullen in de nabije toekomst als bi-directioneel bron worden uitgevoerd (onttrekking en infiltratie).

4.3.1 Onttrekkingsbronnen HH1 en HLN1

De onttrekkingsbronnen HH1 en HLN1 leveren warm en koud mijnwater en zorgen voor een voldoende voedingsdruk van minimaal 2 bar op het aansluitpunten van het clusternetwerk en de gebouwen die rechtstreeks op de mijnwater-backbone zijn aangesloten (CBS en HHC). Dit om ontgassing van het mijnwater te voorkomen. Daarom wordt de voedingsdruk via een snelle internetverbinding gemeten en doorgegeven aan de mijnwaterinstallaties van de onttrekkingsbronnen. **De onttrekkingsbronnen worden dus op druk geregeld.**

Afbeeldingen 18 en 19 tonen het principe en het ontwerp van de mijnwaterinstallatie van onttrekkingsbron HLN1.

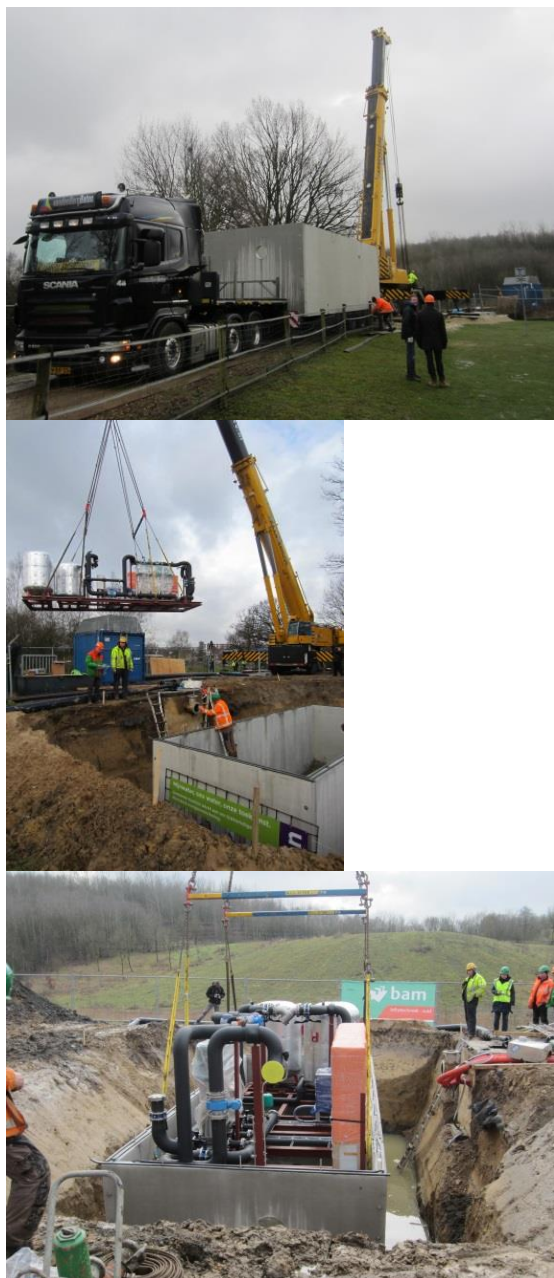


Figuur 18 en 19. Het principe en het ontwerp van de mijnwaterinstallatie van onttrekkingsbron HLN1.

De functionaliteit van de onttrekkingsbronnen kan in twee delen worden opgesplitst. Ten eerste de bronpomp, die het mijnwater van ongeveer 120m diepte naar het oppervlak brengt en die het water aan een drukverhogingssysteem levert met een voordruk van 3 bar.

De drukverhogingsinstallatie verhoogt de druk van het mijnwater naar maximaal 12 bar voor distributie naar de mijnwaterinstallaties van de verschillende clusters (momenteel alleen cluster A) en de gebouwen (CBS en HHC) die rechtstreeks op de mijnwater-backbone zijn aangesloten. Omdat het systeem tussen 0% en 100% volledig automatisch en vraaggestuurd moet werken, is een drukbehoud- en bufferinstallatie ten behoeve van start/stop bedrijf van de bronpomp geïnstalleerd. Op de warme onttrekkingsbron HH1 (min. 30 m³ / h; max. 120 m³ / h) zijn 3 buffertanks van 2 m³ geïnstalleerd en op de koude onttrekkingsbron (min. 40 m³ / h; max. 230 m³ / h) zijn 5 buffertanks van 2 m³ geïnstalleerd.

De mijnwaterinstallaties van de onttrekkingsbronnen zijn ook prefab en op skids geplaatst in een gestandaardiseerde prefab betonkelder. Afbeeldingen 20, 21 en 22 tonen de bouw van de mijnwaterinstallatie bij onttrekkingsbron HH1.



Figuur 20, 21 en 22. De MI-HH1 wordt geplaatst.

4.3.2 Infiltratiebronnen HH2 en HLN2

De twee infiltratiebronnen HH2 en HLN2 hebben twee functies:

1. Injectie warm en koud mijnwater in het betreffende mijnwaterreservoir met een minimale injectiedruk van 2 bar om ontgassen te voorkomen;
2. Het actief bewerkstelligen van energie-uitwisseling via de mijnwater-backbone tussen aangesloten clusters en de gebouwen (CBS en HHC).

Met behulp van een algoritme per infiltratiebron wordt bepaald of er een overschot aan warmte of koude is. Met de gemeten aan de mijnwater-backbone onttrokken volumestromen kan dit worden bepaald.

HH2 (warme infiltratiebron)

Stroom = Σ koude volumestroom clusters – warme volumestroom CBS – warme volumestroom HHC

HLN2 (koude infiltratiebron)

Stroom = Σ warmte volumestroom clusters – koude volumestroom CBS – koude volumestroom HHC

Indien de uitkomst van deze berekening ≤ 0 dient betreffende infiltratiebron buiten bedrijf (gesloten) te zijn. Indien de uitkomst van deze berekening > 0 is dient de infiltratiebron in bedrijf te zijn.

Bij warmte- of koudevraag van een cluster produceert het cluster een koude of een warme mijnwaterstroom die beschikbaar is voor levering aan andere clusters en aan de bestaande gebouwen CBS en HHC. De bestaande aansluitingen injecteren hun gebruikte mijnwater nog tijdelijk in HLN3. Deze retourstroom is niet beschikbaar voor energie-uitwisseling en zal niet worden geleverd aan de warme of koude infiltratiebron HH2 en HLN2.

Drukregeling injectiebronnen tijdens energie-uitwisseling

Met de minimum injectiedruk van 2 bar kan het gebeuren dat het retourmijnwater van een cluster, dat elders voor energie-uitwisseling kan worden gebruikt, bij voorkeur direct naar de infiltratiebron stroomt die in bedrijf is.

In deze situatie is een hogere injectiedruk nodig, om het retourmijnwater van het cluster in de tegengestelde richting te laten stromen. Berekeningen tonen aan dat de benodigde werkdrukken in de infiltratiebronnen tot wel 6 bar kunnen oplopen.

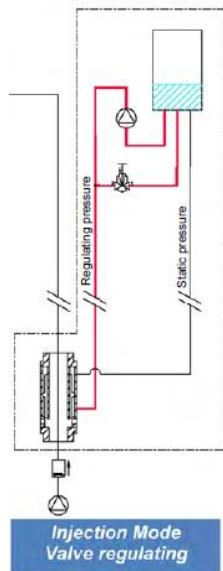
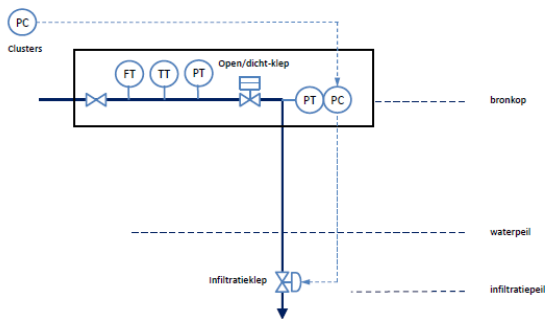
Het mijnwatersysteem stelt hoge kwaliteitseisen aan de injectiekleppen om aan de bovengenoemde eisen te kunnen voldoen:

1. Hoge kwaliteit van het materiaal. Het mijnwater is corrosief. RVS316 is een absolute vereiste.
2. Plaatsing op grote diepte. Om ontgassing te voorkomen moet het injecteren van het mijnwater plaatsvinden op een diepte van 120 meter onder het maaiveld, ongeveer 30 meter onder het waterniveau.
3. Een groot capaciteitsbereik. De injectiekleppen moeten een stroom kunnen verwerken van 0 - 230 m³/h.
4. Injectiedruk van 2 tot 6 bar, die op afstand instelbaar moet zijn.
5. Geschikt voor bidirectioneel gebruik in de toekomst. Tijdens de onttrekking van het mijnwater door een bronpomp moet de afsluiter volledig geopend zijn met een minimum aan drukverlies.
6. Volledig afsluitbaar in geval dat de andere infiltratiebron in bedrijf is.
7. Drukbestendig. Op een diepte van 120 m beneden het maaiveld en een maximale werkdruk van 6 bar

aan het oppervlak kan er een druk van 18 bar optreden bij de injectieklep. Als de injectieklep volledig gesloten is kan de druk zelfs tot 24 bar oplopen.

Voor het vinden van een leverancier die aan bovengenoemde specificaties kan voldoen was marktonderzoek nodig. Uiteindelijk zijn we bij het bedrijf Claval uit Zwitserland uitgekomen. Dit bedrijf heeft brandstofkleppen ontwikkeld voor de tanken van vliegtuigen, die het bedrijf heeft doorontwikkeld naar injectiekleppen voor WKO-toepassingen. Deze kleppen voldoen zeer goed aan onze specificaties.

In afbeelding 23 en 24 wordt het principe van de werking van de infiltratiebronnen schematisch weergegeven. Ook het proefmodel op ware grootte van de injectieklep van Technology Trading, de Nederlandse vertegenwoordiger van Claval, wordt getoond (figuur 25).



Afbeelding 23 en 24. Het principe van de werking van de infiltratiebronnen.

De kleppen zijn voorzien van een onafhankelijk hydraulisch drukregelsysteem met een eenvoudige schakelkast op maaiveld om de kleppen op grote diepte met een op afstand instelbare injectiedruk te kunnen regelen.

De afsluiters zijn bestand tegen 18 bar. Omdat 24 bar kan optreden, is er een tweede klep op maaiveldniveau

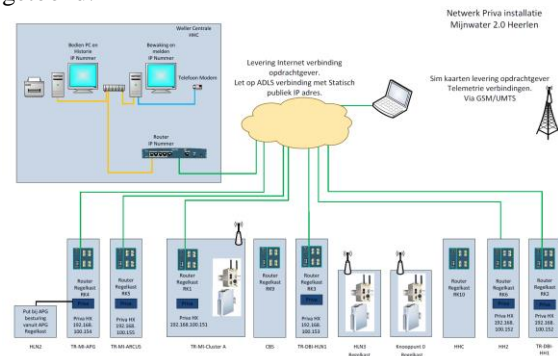
in de bronput voorzien, die volledig sluit wanneer de infiltratiebron niet in werking is.



Figuur 25. Demonstratiemodel injectieklep in werkplaats Technology Trading.

4.4 CENTRAAL MONITORING SYSTEEM (CMS)

Alle mijnwaterinstallaties (MI-gebouw, MI-cluster, MI-bronnen) zijn uitgerust met geavanceerde procesbesturingsystemen, die rechtstreeks via het internet met elkaar en met het Centrale Monitor- en Controlesysteem (CMS) communiceren voor de controle en bewaking van deze geografisch verspreide onderstations. Dit is een noviteit in de gebouwde omgeving. In de afbeelding hieronder (Afbeelding 26) wordt de structuur van het systeem getoond.



Afbeelding 26. De structuur van het Centrale Monitoring System.

De procesbesturingsunits (DDC's) van elk onderstation werken autonoom, zodat ze operationeel blijven wanneer de internetverbinding tijdelijk niet beschikbaar is. De signaaluitwisseling voor de procesbesturing tussen de subsystemen is beperkt tot het minimum en vindt rechtstreeks plaats om onnodige vertraging te voorkomen.

Het CMS is de centrale controlekamer van waaruit alle onderstations worden benaderd, gevisualiseerd, gemonitord en bestuurd. Vanuit het CMS kunnen alle instellingen in de onderstations worden gewijzigd. Alle onderstations samen vormen een virtuele mijnwaterinstallatie.

Het CMS bestaat uit twee subsystemen:

- Bedrijfsvoering en historie;
- Bewaking en transmissie van alarmsignalen naar relevante dienstverlenende bedrijven.

Het CMS is ingericht als een client-server configuratie. Voor servicedoeleinden kan op afstand worden ingelogd in het CMS.

5. GEZOND BEDRIJFSPLAN VOOR MIJNWATER 2.0

Het *European Interreg 3B NWE-programma* en het *6e Framework Program project EC remining-lowex* (De herontwikkeling van Europese kolenwingsgebieden in duurzame gemeenschappen door de integratie van vraag en aanbod op basis van low exergy principes) zijn/waren de belangrijkste subsidiebronnen en financiering voor het Mijwater pilot project 1.0.

Met deze subsidies was de gemeente Heerlen in staat om de belangrijkste kosten en risico's van de werkzaamheden voor het boren van de bronnen en de lancering van de proefprojecten Heerlerheide Centrum en CBS te dekken. Met deze proefprojecten is veel ervaring opgedaan met financiële exploitatie.

Deze ervaring vormt de basis voor de ontwikkeling van een mijnwaterbedrijf dat commerciële aanbiedingen kan doen aan geïnteresseerde gebouweigenaren voor aansluiting op het clusternetwerk. De gebouweigenaar betaalt een vastrecht voor de mijnwateraansluiting en exploiteert zijn eigen warmtepompinstallatie. Dit vastrecht is gebaseerd op de kapitaal- en operationele kosten van het mijnwaterbedrijf voor de mijnwaterinstallatie en aansluiting op het clusternetwerk.

Voor een optimale energie-uitwisseling en verdere ontwikkeling van de hybride duurzame energieinfrastructuur is nog een andere, meer winstgevende energie-exploitatie optie, interessant, namelijk dat het mijnwaterbedrijf eigenaar wordt van het ketelhuis (inclusief warmtepomp). In dit scenario verkoopt het mijnwaterbedrijf warmte en koude aan gebouweigenaren. De vergoedingen voor de warmte- en koudevoorziening zijn gebaseerd op de vermeden kosten voor het gebruik van gasketels, elektrische koelmachines en de vermeden aanvullende maatregelen om te voldoen aan de aangescherpte energie prestatie eisen van de gemeente Heerlen (EPC 50% lager dan de nationale wetgeving). Omdat gebouwinstallaties, aangesloten op de mijnwater infrastructuur, energiezuiniger zijn, kan worden bespaard op de investeringen voor het gebouw om aan de energie prestatie eisen van de gemeente Heerlen te voldoen. Dit leidt tot een gezondere bedrijfsvoering voor het mijnwaterbedrijf en tegelijkertijd is het ook beter voor de gebouweigenaren, die zich geen zorgen meer hoeven te maken over de efficiënte werking van het ketelhuis en over de eisen die de mijnwateraansluiting hieraan stelt. Dit wordt de

verantwoordelijkheid van het mijnwaterbedrijf, dat tevens meer mogelijkheden heeft om de energievoorziening optimaal te exploiteren in combinatie met de andere collectieve op het Mijwater 2.0 systeem aangesloten duurzame energiecentrales. Omdat het mijnwaterbedrijf ook eigenaar is van de warmtepompinstallatie verkeert het bedrijf in een positie om centraal elektriciteit in te kopen voor alle ketelhuizen die het mijnwaterbedrijf in eigendom heeft en kan het bedrijf tevens profiteren van PV-panelen op de daken van de gebouwen.

Momenteel doet het mijnwaterbedrijf een aanbod op basis van de twee verschillende opties die hierboven zijn vermeld. In alle gevallen dient het commerciële aanbod van het mijnwaterbedrijf concurrerend te zijn om potentiële klanten te overtuigen om zich op het Mijwater 2.0 systeem aan te sluiten. Door dit te doen kan het mijnwaterbedrijf voor particuliere aandeelhouders interessant zijn.

6. CONCLUSIES

- Het mijnwaterproject in Heerlen wordt momenteel getransformeerd van een eenvoudig pilotsysteem naar een volwaardige smart grid voor verwarming en koeling met een duurzame hybride energieinfrastructuur, genaamd Mijwater 2.0.
- In 2013-2014 zullen er 4 nieuwe aansluitingen worden gerealiseerd. In 2015 zal er in totaal 500.000 m² vloeroppervlak van mijnwater worden voorzien, die een CO₂-emissiereductie van 65% voor verwarming en koeling voor deze aansluitingen tot gevolg zal hebben.
- Het Mijwater 2.0-project vereist slimme kostenbesparende oplossingen. Geen 'rocket science', maar creatief denken met gebruik making van nieuwe beschikbare toepassingen. Een uitdaging voor de betrokken onderwijsinstellingen in Heerlen, zoals de Zuyd Hogeschool voor toegepaste wetenschap en het nieuw opgerichte NEBER instituut voor toegepast onderzoek op het gebied van Nieuwe Energie, de Bouw en Hernieuwbare Natuurlijke Hulpbronnen.
- Clusternetwerken zijn een doordachte oplossing voor de uitwisseling van energie tussen gebouwen.
- Door de toepassing van meervouwige energie-opwekking kan de effectiviteit van clusternetwerken en de capaciteit van het mijnwater netwerk sterk worden vergroot.
- Clusternetwerktoepassingen worden gebruikt in combinatie met laag-temperatuur geothermische bronnen (het mijnwater), maar kunnen in het algemeen met andere lokale duurzame warme en koude bronnen worden toegepast, bijvoorbeeld de restwarmte van datacenters en gesloten kassen.
- Verdere technische ontwikkeling zal nodig zijn om te komen tot kostenbesparende ontwerpen en

exploitatie van de mijnwaterinstallaties (MI-bronnen; MI-cluster en MI-gebouwen).

- De ontwikkeling van Mijwater 2.0 door het mijnwaterbedrijf toont aan dat het gebruik van warmtepompen met low-exergy warmtebronnen commercieel haalbaar kan zijn.
- Vanwege de economische haalbaarheid kan en zal het Mijwater 2.0 systeem een essentieel onderdeel worden van het duurzame energiestructuurplan 2040 van de gemeente Heerlen.

DANKBETUIGING

Wij danken het *EC 6th Framework en AgentschapNL* voor hun financiële steun en voor hun vertrouwen in onze ideeën en ons werk tijdens de realisatie van dit nieuwe concept van energie-uitwisseling.

REFERENTIES

- Swart, D (July 2006). *End of Well Reports Heerlerheide #1 & Heerlerheide #2*. Groningen, the Netherlands. PGMi
- Van Tongeren P.C.H., Amann – Hildenbrand, A & Daneels A. (April 2007). *The Selection of 'low' and 'intermediate' temperature wells (HRL-1, -2 & -3) at the Heerlen mine water-project*. Mol, Belgium. VITO NV
- Watzlaf G.R. & Ackman E.T. (2006). *Underground Mine Water for Heating and Cooling using Geothermal Heat Pump Systems*. Pittsburgh USA. IMWA Springer-Verlag
- Laenen, B, Harcouët-Menou V, & De Boever, E. *Proposal pump test HLN2 – HLN3 Vito Mol (BE)* February 24 2012
- Laenen, B, Harcouët-Menou V, & De Boever, E. *Evaluation impact of various supply scenarios on the mine water reservoirs*, Vito Mol (BE) march 2013
- Laenen, B, Amann – Hildenbrand, A & Van Tongeren, P.C.H. (June 2007). *The Heerlen mine water-project: Evaluation of the pump-test data of July 2006 at the Heerlerheide-1 & -2 wells*. Mol, Belgium. VITO NV
- Willems, E & Jablonska, B *Energy neutral buildings: Key to energy neutral districts*, WREC 2011 Linköping (2011)
- Vidrih, B Medved, S Vetršek, & J Roijen, E *Standardized solutions for low exergy mine water systems configurations including solutions for high quality energy demand* Technical Guidebook Work package 2, Concerto Initiative, EC 6th Framework (2011)

SAMENGESTELD DOOR

Louis Hiddes¹, René Verhoeven¹, Elianne Demollin¹, Eric Willems², Peter Op 't Veld², Virginie Harcouët-Menou³, Eva De Boever³.

¹ Mijwater BV i.o Heerlen, Postbus 1 6400AA, Heerlen, Nederland

²Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs BV, Postbus 480 6200AL, Maastricht, Nederland

³ VITO, Boeretang 200, 2400 Mol, België

Email: rene.verhoeven@triskill.nl / e.willems@chri.nl