

Toepassing van verticale bodemwarmtewisselaars

Ir. C.P.J.M. Geelen,
dr. H.J.L. Witte,
ing. C.A.M. Arkesteijn

Het karakter van het warmtepompsysteem met bodemwarmtewisselaar is een systeem met een hoog comfort, lange levensduur en waarmee energie wordt bespaard. Hierbij moeten de kwaliteit van de gebruikte materialen en technieken bij de aanleg van het systeem in overeenstemming zijn met dit karakter. De Isso publicatie 73 'Ontwerp en uitvoering van verticale bodemwarmtewisselaars' geeft daarbij een praktische handleiding.



(foto: Rob Niermansverdiel)

I. Isso-publicatie 73 is een praktische handleiding voor verticale bodemwarmtewisselaars.

Een aantal jaren geleden is Isso het project 'Het ontwerp en de uitvoering van gesloten bodemwarmtewisselaars' gestart, met als resultaat de onlangs verschenen Isso-publicatie 73. De aanzet voor het project was het ontbreken van een eenduidige en goed omschreven ontwerpmethodiek voor verticale bodemwarmtewisselaars. Ook ontbraken uniforme uit-

voeringsvoorschriften voor het ontwerp en de realisatie van verticale bodemwarmtewisselaars. Als belangrijk gevolg hiervan vielen de prestaties van deze systemen in de praktijk vaak tegen, wat vervolgens weer resulteerde in niet goed functionerende warmtepompen. Tevens bleken voor kleine projecten de kosten van de noodzakelijke dimensioneringsberekeningen onevenredig hoog, waardoor het bronstelsel onnodig duur werd. Dit verminderde de haalbaarheid en daarmee de mogelijke toepassing van warmtepompen, terwijl de overheid de technologie juist vanuit het oogpunt van energie-efficiëntie wil stimuleren. Met name voor de woningbouw en de kleinere utiliteitsgebouwen was er behoefte aan een eenvoudige inzichtelijke en betrouwbare rekenmethodiek. Naast deze rekenmethodiek was er behoefte aan eenduidige kwaliteitseisen voor verticale bodemwarmtewisselaars.

In het kader van het toenmalige convenant warmtepompen en het daarbij behorende kwaliteitssysteem voor warmtepompsystemen (Novem publicatie 2DEN-0324) is Isso-publicatie 73 'Ontwerp en uitvoering van verticale bodemwarmtewisselaars' ontwikkeld.

ISSO-PUBLICATIE 73

De publicatie bestaat uit twee delen. In het eerste deel van de publicatie wordt de methodiek voor het dimensioneren van verticale bodemwarmtewisselaars gegeven. Het geleverde vermogen door de bodemwarmtewisselaar is afhankelijk van verschillende factoren, zoals de mediumtemperatuur en de bodemopbouw. Het vermogen van de bodemwarmtewisselaar moet zijn afgestemd op de warmtevraag en het maximum vermogen van de warmtepomp. Het kan worden gebruikt om verticale bodemwarmtewisselaars te dimensioneren voor woningen en kantoorgebouwen met een maximum verwarmingsvermogen van 100 kW. In de Isso-publicatie worden twee aparte ontwerpmethodieken gegeven; één voor woningbouw en één voor kantoren. Het warmtevraagpatroon voor beide type gebouwen verschilt immers structureel.

In het tweede deel wordt het voortbrengingsproces van de verticale bodemwarmtewisselaar beschreven. Het voortbrengingsproces is opgezet conform het in de installatiesector gehanteerde Model Kwaliteitsbeheersing Klimaatinstallaties (MKK-structuur). Het MKK is een instrument voor het beheersen van het voortbrengingsproces van klimaatinstallaties binnen het bouwproces. In de MKK-structuur wordt een proces verdeeld in vijf fasen: de programma-, ontwerp-, uitwerkings-, realisatie- en beheerfase. Elke fase wordt vergezeld van zogenoemde beheersaspecten.

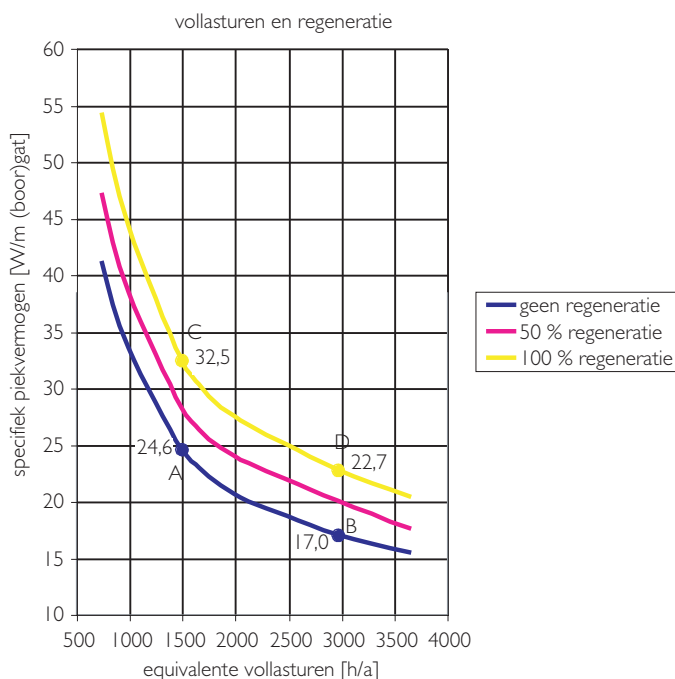
Toepassing van de MKK-structuur betekent het verstrekken van informatie aan de betrokken partijen over het ontwerp en de uitvoering van het bodemwarmtewisselaarsysteem in de betreffende fase van het bouwproces. In de programma-fase worden eisen, benodigde informatie en verwachtingen over het verticale bodemsysteem geïnventariseerd. In de ontwerp-fase komt de dimensionering van de bodemwarmtewisselaar aan de orde. In deze fase wordt de totaal benodigde lengte van de bodemwarmtewisselaar en het aantal benodigde warmtewisselaars bepaald.

De uitwerkingsfase betreft aspecten die te maken hebben met de uitwerking van het ontwerp tot (prestatie en functionele) eisen voor componenten, inregeling, beproeving en in bedrijfsname. De nadruk ligt op de technische uitwerking van het ontwerp. De realisatiefase betreft aanbevelingen om tot een goed werkend systeem te komen. Belangrijke onderdelen zijn beproeving, inregeling en inbedrijfstelling. Tot slot wordt in de beheerfase op hoofdlijnen informatie gegeven over het beheer en onderhoud van een verticaal bodemwarmtewisselaarsysteem.

DIMENSIONERING

Bij de dimensionering is het allereerst van belang de functie van het bodemsysteem te definiëren. Wordt er alleen warmte aan de bodem onttrokken voor verwarming van ruimten en tapwater of wordt er ook warmte aan de bodem toegevoerd om ruimten (of processen) te koelen. Wanneer er ook koeling nodig is, is het onderscheid tussen passieve en actieve koeling belangrijk. Bij passieve koeling wordt het bodemsysteem direct aan het afgiftesysteem in de woning of het gebouw gekoppeld en is de warmtepomp buiten bedrijf. Bij actieve koeling wordt het bodemsysteem aan de condensor van de warmtepomp gekoppeld (en de verdampers aan het afgiftesysteem) om zo de warmte in de bodem op te slaan. Het laatste gaat gepaard met hogere temperaturen en vermogens in het bodemsysteem.

Uiteindelijk is het voor de dimensionering van belang vast te



2. Specifiek piekvermogen (woningbouw).

Isso heeft samen met verschillende marktpartijen zorggedragen voor Isso-publicatie 73. **TNO-Bouw en Ondergrond en Groenholland traden op als rapporteur. De verschillende andere marktpartijen, waaronder Uneto-vni, Bolegbo vok (branche vereniging van grondboorders), Garantie Instituut Woningbouw en Isso brachten ook kennis in en beoordeelden de stukken van de rapporteurs. Isso heeft vervolgens de door de Kontaktgroep (marktpartijen) goedgekeurde rapportage vertaald naar de Isso-publicatie. SenterNovem en Uneto-vni hebben het project gefinancierd. Samen met Isso-publicatie 72 'Ontwerpen van individuele en klein elektrische warmtepompsystemen' vormt Isso publicatie 73 een goede basis voor het ontwerp en uitvoering van een warmtepompsysteem.**





typering	warmtegeleiding [W/(m.K)]	warmtecapaciteit [MJ/(m ³ .K)]	overheersende bodemsoort	wrijvingsgetal uit sondering [procent]
zeer goed	2,4	2,5	zeer grof tot matig fijn zand (verzadigd; eventueel grindhoudend)	< 1
goed	1,8	2,2	slibhoudend zand, zand met klei en/of leemlagen (verzadigd)	1 - 4
matig tot slecht	1,2	1,7	klei en/of leem met veenlagen (verzadigd)	> 4

Tabel 1: Bodemklassificatie.

stellen welk deel van de in het stookseizoen onttrokken warmte 's zomers weer in de bodem wordt teruggebracht.

Globale benadering

Voor de dimensionering in de verkennende projectfase kunnen de volgende globale uitgangspunten worden aangehouden:

- Specifiek maximum piekvermogen van de bodemwarmtewisselaar: 20 tot 50 W/m (denk hierbij aan de omrekening via de COP van de warmtelevering door de condensor naar warmtevraag door de verdamper van de warmtepomp);
- Gewenste of beschikbare diepte: 20 tot 150 m;
- Onderlinge afstand van de bodemwarmtewisselaars: 4 m tot 8 m, vertaald naar vereist bodemoppervlak per bodemwarmtewisselaar: 16 m² tot 64 m²;

Aan de hand hiervan kan bekeken worden of het beschikbare oppervlak wel of niet groot genoeg is.

Grondwaterstroming

Grondwaterstroming kan zowel een positief als negatief effect op de grootte van het bodemsysteem hebben. Het meest positieve effect treedt op in een situatie waarin alleen warmte wordt onttrokken (of toegevoerd). Een negatief effect kan optreden wanneer alle onttrokken warmte in een ander seizoen weer wordt teruggevoerd in de bodem (bijvoorbeeld bij koudelevering in de zomer). Hierbij zorgt de grondwaterstroming voor vermindering van de bufferwerking in het betreffende bodemdeel. De grootte van het positieve of negatieve effect is afhankelijk van de stromingssnelheid van het grondwater in relatie tot de grootte van het bodemsysteem. Vanwege de complexiteit is het effect van grondwaterstroming alleen globaal aangegeven in de Isso-publicatie.

Kosten

De kosten van een compleet systeem bedragen globaal 15 tot 35 euro per meter geboord of gedrukt gat in de bodem (prijspeil 2004). Hierin zijn opgenomen:

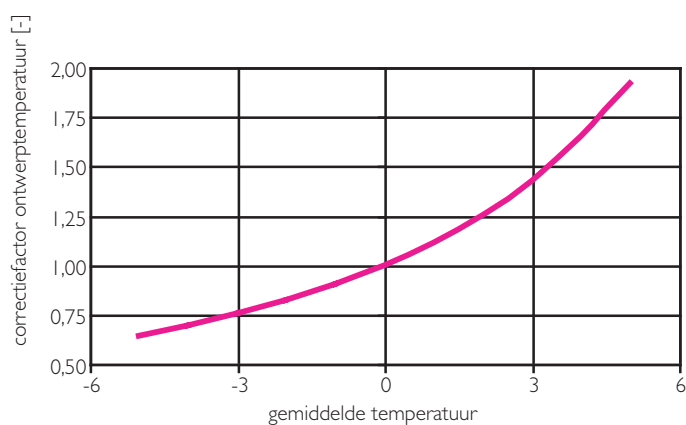
- materiaal bodemwarmtewisselaars (MDPE-buizen);
- boren van de gaten en inbrengen of drukken van de bodemwarmtewisselaars;
- horizontaal leidingwerk en verbindingen tot en met de aansluiting op de warmtepomp en eventuele verdeler/ verzamelaars (inclusief graafwerk en eventuele doorvoeringen).

METHODIEK

Dit alles heeft vooral betrekking op de eerste, verkennende projectfase. Voor de ontwerpfase is een gedetailleerdere aanpak voor de dimensionering beschikbaar in de Isso-73. Hiertoe is een rekenmethodiek opgenomen waarbij de invloed van de volgende aspecten kan worden verwerkt: het vraagpatroon (verwarmen/koelen en monovalent/bivalent), mediumtemperatuur, bodemsoort, type bodemwarmtewisselaars en opstelling (vorm en afstand).

Vraagpatroon

Allereerst is het zaak de soort belasting vast te stellen. Betreft het een monovalent-systeem waarbij de warmtepomp en het bodemsysteem volledig in de behoefte voorzien of een bivalent-systeem waarbij de basislast door de warmtepomp en de bodem wordt geleverd en de pieklast door een bijstookvoorziening. De belangrijkste variabele is hierbij het aantal equivalente vollasturen (= jaarverbruik/max.vermogen). Verder is de bodembalans een belangrijke parameter. Wordt alle aan de bodem onttrokken warmte terugge-



3. Invloed van de ontwerp-mediumtemperatuur op de benodigde lengte.

voerd (honderd procent regeneratie), slechts een deel of helemaal niets (nul procent regeneratie).

Met het aantal vollasturen en het percentage regeneratie kan in afbeelding 1 een eerste benadering van het specifieke vermogen van het bodemsysteem worden bepaald. Met het specifieke vermogen en het gewenste totaalvermogen (van het bodemsysteem) wordt de vereiste grootte van bodemsysteem, uitgedrukt in boorgat lengte, bij benadering bepaald. Deze lengte geldt voor een referentiesysteem onder standaardcondities. Uitgaande van deze referentiesituatie worden steeds de invloed van de overige aspecten met een correctiefactor in rekening gebracht.

Mediumtemperatuur

De volgende belangrijke invloedsfactor is de mediumtemperatuur in het bodemsysteem. Hoe lager de mediumtemperatuur, hoe makkelijker de warmte aan de bodem kan worden onttrokken en hoe kleiner het bodemsysteem kan zijn en omgekeerd. Nadeel van lage mediumtemperatuur is echter dat de COP van de warmtepomp nadelig wordt beïnvloed en dat de bodem rondom de verticale bodemwarmtewisselaars gaat bevriezen. Om bevrozing op grote schaal te voorkomen wordt aanbevolen de mediumtemperatuur (gemiddelde van aanvoer en retour bij piekbelasting na 25 jaar) onder ontwerpcondities niet lager dan -3 °C te laten worden. In afbeelding 3 is het verband aangegeven tussen de grootte van het bodemsysteem en de ontwerptemperatuur van het medium.

Bodemsoort

Ook de bodemsoort waarin de verticale bodemwarmtewisselaars worden geplaatst, heeft invloed op de prestaties. In

de Isso-73 is daarbij uitgegaan van een onderverdeling in drie bodemklassen, zoals aangegeven in tabel 1. Afhankelijk van de bedrijfsvoering (vollasturen en regeneratiedeel) volgen daarbij verschillende correctiefactoren voor de totale lengte van het systeem. Hoe beter de bodemsoort, hoe kleiner het systeem kan zijn.

Het boorgat moet na het aanbrengen van de verticale bodemwarmtewisselaars weer worden opgevuld. Bij voorkeur wordt hiervoor zand gebruikt. Dit is echter niet altijd mogelijk. Wanneer bijvoorbeeld afdichtende bodemlagen zijn doorboord, moet bentoniet of een gelijksoortig materiaal worden gebruikt. De warmtegeleiding daarvan is echter slechter dan die van nat zand. Voor de invloed hiervan zijn correctiefactoren opgenomen in Isso-73.

Type

Vervolgens is het type verticale bodemwarmtewisselaars van invloed. Een dubbele U-buis werkt vijftien tot twintig procent beter dan een enkele U-buis (beide met voorgeboord gat) en een (gedrukte) concentrische buis circa tien procent minder goed. Een gedrukte U-buis werkt twintig tot 25 procent minder goed dan een geboorde U-buis.

Opstelling

Tot slot is de opstelling van de verticale bodemwarmtewisselaars van invloed op de prestaties. Daarbij gaat het om de vorm van de opstelling (plattegrond) en de onderlinge afstand van de verticale bodemwarmtewisselaars. Voor woningen kan uit vier kleine opstellingen worden gekozen, in lijn- of matrixopstelling (afbeelding 4). Het verschil in prestatie tussen de verschillende opstellingen voor woningen is maximaal circa tien procent. De lijnopstelling met vier stuks bodemwarmtewisselaars scoort daarbij het beste. De matrixopstelling van twee rijen van drie stuks scoort het minst goed.

Voor de kleine utiliteit kan worden gekozen uit vier opstellingen die respectievelijk langwerpig of vierkant zijn en uit een volledig opgevuld veld bestaan of een randopstelling (afbeelding 5). Randopstellingen leveren ongeveer twintig tot dertig procent meer vermogen per m bodemwarmtewisselaar dan volledig opgevlude velden. Langwerpige gevormde opstellingen kunnen iets hogere vermogens per m leveren dan vierkante vormen.

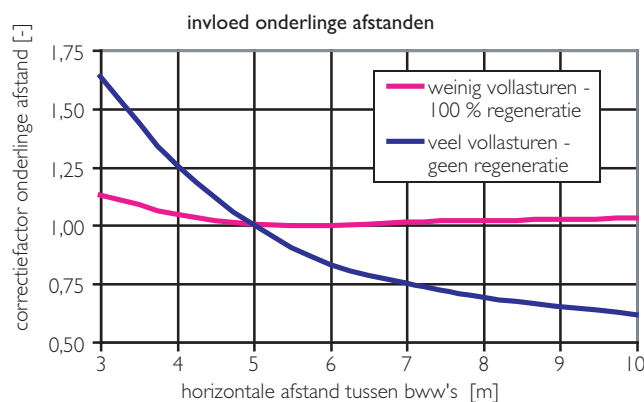
Voor de invloed van de onderlinge afstand is ook weer de bedrijfsvoering van belang: bij een hoog aantal vollasturen en geen regeneratie heeft de onderlinge afstand veel invloed en bij weinig vollasturen en volledige regeneratie is die invloed erg klein (afbeelding 6).



4. Opstellingsvormen woningbouw.



5. Opstellingsvormen utiliteit (schematisch).



6. Invloed van de onderlinge afstand op de totale lengte van het bodemsysteem.

Vanwege het verschil in (warmte-)vraagpatroon tussen woningen en kantoren en de invloed van de daarbij passende opstellingsvorm is deze rekenmethodiek gesplitst in een deel voor de woningen en een deel voor kleine kantoren met elk aparte correctie factoren.

UITVOERINGSRICHTLIJNEN

Belangrijke voorwaarden die aan een warmtepomp-bodemwarmtewisselaarsysteem kunnen worden gesteld, zijn in drie hoofdthema's onderverdeeld.

- Voorwaarden met betrekking tot de prestatie (efficiëntie) van het systeem. Deze voorwaarden gelden in elk geval voor de gemiddelde brontemperatuur waarop het systeem werkt, omdat de prestatie (COP) van de warmtepomp daar voor een groot deel vanaf hangt. Maar ook het type materiaal, boorgatafwerking et cetera spelen een belangrijke rol.
- Voorwaarden met betrekking tot de levensduur (vijftig jaar). Hier gaat het vooral om de kwaliteit van de gebruikte materialen en de constructietechniek.

- Voorwaarden die ervoor zorgen dat tijdens de aanleg en het gebruik van het systeem het milieu zo min mogelijk wordt belast. Hierbij is verwerking van het bij boren vrijgekomen sediment op de locatie van belang, maar ook de kwaliteit van de afdichting van de gaten in de bodem om inzijsen van vloeistoffen of mengen van grondwater te voorkomen.

Uiteraard zijn ook de economisch aspecten van belang bij een goed ontwerp en een goede uitvoering van de aanleg van een bodemwarmtewisselaarsysteem. Als laatste voorwaarde kunnen we dan ook stellen dat het systeem zo kostenefficiënt mogelijk moet worden aangelegd. Bij de uitvoering wordt vervolgens het bodemwarmtewisselaarsysteem aangelegd. De praktische werkzaamheden kunnen in vier verschillende fasen worden ingedeeld:

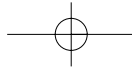
- voorbereiden van de werkzaamheden;
- boren of drukken en aanbrengen bodemwarmtewisselaar;
- aanleggen horizontale aansluitingen;
- spoelen, testen en opleveren.

De Isso-publicatie geeft voor elk van deze fasen een algemene beschrijving en eisen, specifieke kwaliteitseisen en aanbevelingen en geeft voorbeelden van werkbladen en -tabel- len die kunnen worden gebruikt om de werkzaamheden te documenteren en die dienen als systeemdokumentatie.

Voorbereiding

Voordat een bodemwarmtewisselaarsysteem wordt aangelegd moet natuurlijk worden vastgesteld of het überhaupt mogelijk is. Naast technische beperkingen kunnen ook andere beperkingen gelden. Hoewel voor het uitvoeren van boorwerk of het aanbrengen van verticale bodemwarmtewisselaars geen vergunningen zijn vereist, kunnen er toch omstandigheden zijn waardoor het uitvoeren van de werkzaamheden niet zonder meer is toegestaan of verder onderzoek is vereist. Denk hierbij aan de aanwezigheid van kabels en leidingen (informatie verkrijgbaar via Klic) of de winning van drinkwater en mogelijke boringvrije zones in het betreffende gebied. Maar ook aan de aanwezigheid van open grondwatersystemen voor warmte-koudeopslag in de directe omgeving van het beoogde systeem. Combinaties van deze systemen in hetzelfde bodemdeel zijn meestal ongunstig. Om onderlinge invloeden uit te sluiten moet de afstand tot andere gesloten systemen normaal gesproken minstens 10 tot 20 m bedragen; bij hoge snelheden van de grondwaterstroming kan deze afstand groter zijn.

Gezien de (financiële) risico's is afstemming van verantwoor-



delijkheden tussen opdrachtgever en uitvoerder van groot belang, denk aan het al dan niet aanwezig zijn van ondergrondse kabels en leidingen, wie het terrein gereed moet maken om de werkzaamheden uit te voeren, wie verantwoordelijk is voor drainage et cetera.

Aanbrengen

Bij boren of gebruik van de druktechniek is, voor de warmtewisselaar die in de bodem wordt gebracht, de kwaliteit van het materiaal van groot belang. Niet alleen de specificaties van het materiaal, ook de verwerking verdient hierbij aandacht. Belangrijk is vooral wanneer materiaal met kleine beschadigingen moet worden afgekeurd. Hiervoor zijn inspecties bij aflevering en voor de inbouw vereist. Grote krassen of geknikte buizen moeten worden afgekeurd. Na het boren en inbouwen van de wisselaar moet het boorgat vervolgens worden afgevuurd.

De boorgatafzetting is bedoeld om ongecontroleerd instorten van het boorgat te voorkomen (daarbij kan de wisselaar beschadigen), een goed thermisch contact tussen de warmtewisselaar en de bodem te waarborgen en waterscheidende lagen die doorboord zijn weer af te dichten. De *Isso*-publicatie schrijft, afhankelijk van de omstandigheden en mogelijkheden, een specifiek afvulproces voor: Ook aan de bovenzijde wordt een afdichting aangebracht om inzinking of mogelijke kwel langs de wisselaar te voorkomen. Voor de opdrachtgever is het van belang te kunnen verifiëren of de bodemwarmtewisselaars conform de voorgeschreven lengte zijn aangebracht. Dit is mogelijk door individuele wisselaars te peilen, door voldoende toezicht tijdens de uitvoering van de werkzaamheden en omdat de wisselaars een lengtemarkering moeten hebben.

Horizontale verbindende leidingen

In de praktijk blijkt dat de meeste problemen zich voordoen bij de aanleg van de horizontale leidingen. Fouten die veel voorkomen zijn het gebruik van verkeerde aansluitmethoden of appendages, leidingen die niet voldoende zijn schoonmaakt voor het lassen waardoor de verbinding niet goed tot stand kan komen, niet voldoende diep leggen van de horizontale leidingen of het niet correct schakelen van de hydraulische circuits. Een voorbeeld van onjuiste materiaalkeuze is gebruik van appendages die metaal bevatten. Ondergronds zal metaal snel corroderen, terwijl ook ontzinkt messing diverse problemen kan geven. Belangrijk is verder dat de sleuven waarin de horizontale leidingen worden gelegd schoon zijn en dat het systeem goed wordt getest

op doorstroming (in verband met verstopping) en lekkage voordat de sleuven worden dichtgegooid.

Spoelen, testen en opleveren

Het spoelen van het systeem is bedoeld om verontreinigingen, zoals zand of PE-schraapsel te verwijderen, zowel de duur als het minimale debiet waarbij moet worden gespoeld is voorgeschreven. Vervolgens wordt een druktest uitgevoerd. Deze test bestaat uit twee onderdelen, namelijk een test om de lektheid en een test om de mechanische sterkte te beproeven. Nadat de testen zijn uitgevoerd, wordt het systeem met de voorgeschreven hoeveelheid antivriesmiddel afgevuurd. Uiteindelijk worden de overdrachtsdocumenten opgesteld en kan het systeem formeel worden overgedragen. Veelal zal hier een garantie aan verbonden zijn. In principe wordt uitgegaan van een garantieperiode van vijf jaar.

HET RESULTAAT

Een goed ontworpen en aangelegd warmtepomp-bodemwarmtewisselaarsysteem levert een hoog energetisch rendement met daarbij een zeer hoog comfortniveau, waaronder de mogelijkheid van koeling in de zomer. In de praktijk zal een goed aangelegd systeem probleemloos functioneren en een lange levensduur hebben. Het bodemwarmtewisselaarsysteem is daarbij nagenoeg onderhoudsvrij en heeft daarom zeer lage exploitatiekosten.

Auteurs

Ir. C.P.J.M. Geelen, TNO Bouw en Ondergrond, dr. H.J.L. Witte, Groenhol-land, ing. C.A.M. Arkesteijn, Isso.

