

Alternatief warmtapwaterconcept voor ziekenhuizen

Bij het ontwerpen van ziekenhuizen staan veiligheid, comfort en duurzaamheid hoog in het vaandel. De gebruikelijke collectieve warmtapwaterinstallatie is in dat opzicht steeds meer een doorn in het oog. De installatie is een potentieel broeinest van legionellabacteriën en vormt daarmee een groot gezondheidsrisico, dat vraagt om uitgebreide beheersmaatregelen. Daarnaast leidt de opzet van de installatie tot grote energieverliezen. Het Deerns Safe & Simple warmtapwaterconcept is ontwikkeld vanuit een alternatieve benadering, waarbij wordt uitgegaan van lokale warmtapwaterbereiding met behulp van individuele elektrische doorstroomtoestellen. Het resultaat is een veilige en eenvoudige installatie waarmee optimaal wordt ingespeeld op de lokale warmtapwaterbehoefte.

Ir. R. (Renske) Kind en H. (Henk) Lodder, Deerns

In de huidige ontwerppraktijk wordt de warmtapwatervoorziening in ziekenhuizen meestal gerealiseerd door middel van een collectieve installatie. Daarbij wordt het water op een centrale locatie verwarmd en via een uitgebreid leidingnet naar de gebruikers gedistribueerd. Afhankelijk van de afname wordt (een gedeelte van) het warmtapwater (ww) via circulatieleidingen weer teruggepompt naar de ww-bereider. Dit laatste heeft twee functies: (i) lange wachttijden aan de tappunten worden voorkomen en (ii) het water kan op de juiste temperatuur worden gehouden. In het kader van legionellapreventie dient de watertemperatuur hoger te zijn dan 60 °C. Indien legionellabacteriën worden geweerd met behulp van een poortwachtersysteem (fysisch beheer), dan is de minimale watertemperatuur 50 °C. Temperaturen tussen 25 °C en 50 °C mogen slechts kortstondig voorkomen, zoals in de uittapleidingen [1]. Aan een collectieve installatie kleef een aantal nadelen. Zo vergt het

systeem een intensief beheer, waaronder jaarlijkse controle en onderhoud in het kader van legionellapreventie [2]. Daarnaast is er door de hoge watertemperaturen een risico op verbranding van lichaamsdelen. In de uitgestrekte leidingnetten kunnen ten gevolge van een hydraulische onbalans drukschommelingen ontstaan. Door deze drukschommelingen kan in de mengkraan verdringing van koud of warm water optreden, resulterend in temperatuurschommelingen. Dit is niet alleen oncomfortabel, maar kan ook leiden tot een schrikreactie of zelfs verbranding. Ook energetisch is een collectieve installatie niet optimaal. Door de grote leidinglengtes en continue circulatie van water met een hoge temperatuur treden grote energieverliezen op. Het concept sluit bovendien niet meer aan bij moderne verwarmingssystemen, waarbij wordt gewerkt met relatief lage temperaturen en een zo groot mogelijke afkoeling, alsmede het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen. Optimalisatie van de

conventionele ww-installatie is mogelijk, maar leidt tot een steeds grotere complexiteit en uitgebreidere beheersmaatregelen.

■ ALTERNATIEF

Naar aanleiding van de problemen die met een collectieve installatie gepaard gaan, heeft Deerns een alternatief concept ontwikkeld. Het Deerns Safe & Simple (DSS) warmtapwaterconcept is gebaseerd op lokale, individuele waterverwarming nabij ieder tappunt met behulp van elektrische doorstroomtoestellen (geisers). De hoeveelheid en de temperatuur van het te verwarmen water wordt precies afgestemd op de acute behoefte aan ieder tappunt. Door de kleine waterinhoud van het (niet geïsoleerde) toestel en de daardoor snelle afkoeling van het aanwezige water, krijgen legionellabacteriën geen kans. Er zijn dan ook geen beperkingen voor de temperatuur van het water; deze kan naar wens worden ingesteld. Voor de meeste toepassingen is een tempe-

ratuur van circa 40 °C voldoende. Hierdoor wordt ook het risico op verbranding geëlimineerd. De installatie is simpel en overzichtelijk van opzet en daarmee eenvoudig in gebruik, goed beheersbaar en nagenoeg onderhoudsvrij. Doordat er voor zowel de koudwater- als de warmwatervoorziening gebruik wordt gemaakt van een enkele leidingnet, wordt daarin een grotere doorstroming verkregen, met een gunstig effect op de drinkwaterkwaliteit.

Het DSS-concept en de diverse voor- en nadelen zijn beschreven in het artikel 'Veilige, betaalbare ww-installatie met decentrale elektrische geisers' [3]. Het voorliggende artikel betreft de resultaten van een studie naar het energiegebruik en de financiële haalbaarheid van het concept. Deze resultaten volgen uit twee modellen van de ww-voorziening in een fictief referentiegebouw – de eerste op basis van het collectieve concept en de tweede op basis van het DSS-concept. Voor beide installaties is een indicatieve berekening gemaakt van het (primaire) energiegebruik. Vervolgens is het verschil in investeringskosten tussen beide systemen onderzocht. Ten slotte zijn zowel de investeringskosten als de exploitatiekosten verwerkt in een levenscycluskostenanalyse.

■ REFERENTIEGEBOUW

Het referentiegebouw is onderdeel van een modern ziekenhuiscomplex. Het is rechthoekig van vorm en omsluit een patio. De eerste twee bouwlagen, elk met een bruto vloeroppervlak van 2.916 m², zijn bestemd voor de huisvesting van poliklinieken; daarboven bevinden zich drie lagen met een bruto vloeroppervlakte van elk 2.411 m², bestemd voor verpleegafdelingen. De verpleegafdelingen bieden plaats aan een totaal van 156 bedden. De zesde bouwlaag is gereserveerd voor de technische installaties. De technische laag niet meegerekend, heeft het gebouw een totaal bruto vloeroppervlak van 13.065 m². Voor alle in het gebouw aanwezige tappunten is een inschatting gemaakt van het gebruik. Dit resulteert in een totaal ww-gebruik van gemiddeld 9.300 l/dag, gelijk aan circa 60 l/dag per bed.

■ CONVENTIONEEL ONTWERP

Het ontwerp op basis van het collectieve concept is gebaseerd op de bepalingen en richtlijnen zoals vastgelegd in Waterwerkblad 4.4 A [4]. De installatie is opgebouwd uit een centraal ww-toestel en een distributiesysteem. Het centrale ww-toestel is meestal een direct of indirect gestookt voorraadtoestel. Bij een indirect gestookt voorraadtoestel wordt het water verwarmd via een warmtewisselaar, waarbij als warmtebron veelal gebruik wordt gemaakt van de cv-installatie.



In moderne ziekenhuisontwerpen worden de cv-installaties echter gebaseerd op lagetemperatuursystemen. Dit betekent dat er aanvullende voorzieningen nodig zijn om de voor het ww-systeem benodigde hoge temperatuur te bereiken. Bovendien hebben de hoge retourtemperaturen van het circulatiesysteem een nadelig effect op het opwekkingsrendement van lagetemperatuursystemen [5]. Om een heldere vergelijking te kunnen maken wordt in het model van het collectieve concept uitgegaan van een direct-gasgestookt voorraadtoestel met een opwekkingsrendement van 80%. Via een uitgebreid leidingnet in combinatie met een circulatiesysteem wordt het warme water naar de diverse tappunten gedistribueerd. De hoofddistributie- en circulatieleidingen worden voorzien van 25 mm isolatie. Legionellabesmetting wordt tegengegaan door toepassing van een poortwachtersysteem. Aanvullend wordt het water in de ww-installatie verwarmd tot 55 °C. Het circulatiesysteem wordt zodanig ontworpen, gemonitord en geregeld dat de temperatuur van het water aan het einde van de circulatieleiding niet lager is dan 50 °C. Alle tappunten worden met ongeïsoleerde uittapleidingen op het hoofddistributienet aangesloten. De uittapleidingen hebben een lengte van maximaal 5 meter en daarmee een inhoud kleiner dan 1 liter. De tappunten worden voorzien van een thermostatische mengkraan of een mengkraan met een drukafhankelijke temperatuurbegrenzer, die het warme water mengt met koud water om zo de gewenste temperatuur te bereiken.

■ ALTERNATIEF ONTWERP

In het ontwerp op basis van het DSS-concept wordt bij ieder tappunt of, in het geval van de sanitaire cellen bij patiëntenkamers, bij iedere combinatie van tappunten een elektrisch doorstroomtoestel geplaatst. Dit toestel heeft

een rendement van circa 99%. De toestellen worden ter plaatse aangesloten op het drinkwaternet. De watertemperatuur wordt per toestel ingesteld al naar gelang de behoefte aan het betreffende tappunt. De tappunten worden voorzien van een mengkraan, waarmee eventueel koud water kan worden bijgemengd. Een doorstroomtoestel vraagt kortstondig een aanzienlijk elektrisch vermogen. Het is dan ook noodzakelijk de elektrische infrastructuur hierop aan te passen. In het ontwerp is voor alle toestellen een krachtaansluiting voorzien. De schakel- en verdeelinrichtingen worden uitgebreid en het opgestelde transformatorvermogen wordt vergroot. Hoeveel extra transformatorvermogen nodig is hangt af van de gelijktijdige vermogensvraag van alle doorstroomtoestellen tezamen, alsmede het verloop hiervan in de tijd in relatie tot de vermogensvraag van andere afnemers. De transformatoren van een ziekenhuis worden gedimensioneerd op basis van de maximaal optredende vermogensvraag. In een ziekenhuis dat gebruik maakt van koelmachines blijft deze piek in de vermogensvraag op te treden op het moment dat de koelvraag maximaal is, namelijk op zeer warme dagen, midden op de dag. Op alle andere tijdstippen is de vermogensvraag kleiner en is er dus extra vermogen beschikbaar. De vermogensvraag ten gevolge van het gebruik van de douches kent juist pieken in de ochtend en de avond. De gelijktijdige piekbelasting ten gevolge van de tappunten valt dus niet samen met de piekbelasting ten gevolge van de koelinstallatie (zie figuur 1 volgende pag.). Dit betekent dat de benodigde toename van het transformatorvermogen beperkt of zelfs nihil is, evenals de toename van het bij de netbeheerder te contracteren vermogen. Aangenomen wordt dat zonder toepassing van elektrische ww-bereiding voor het referentiegebouw twee transformatoren van

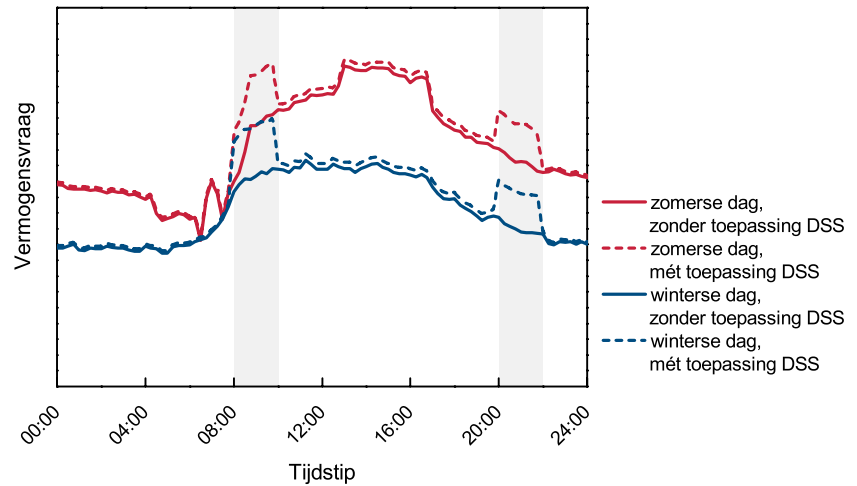
630 kVA zouden worden opgesteld. Om ieder risico uit te sluiten worden in het ontwerp op basis van het DSS-concept beide transformatoren vergroot tot 1.000 kVA. Hiermee kan ruimschoots aan de extra vermogensvraag worden voldaan. Deze maatregel wordt zelfs overbodig wanneer vraag en aanbod van elektriciteit op interactieve wijze op elkaar worden afgestemd met behulp van een zogenaamd smart grid. Een aandachtspunt bij toepassing van het DSS-concept is legionellapreventie in het koudwaterleidingnet. Anders dan bij een collectieve installatie is het niet mogelijk het leidingnet thermisch te desinfecteren met behulp van de ww-installatie. Toepassing van een poortwachtersysteem is dan ook een voorwaarde. Mocht er toch, om welke reden dan ook, een besmetting optreden, dan zijn er andere mogelijkheden om de leidingen te desinfecteren. Voor het herstellen van de hygiënische nul-situatie kan bijvoorbeeld tijdelijk een (gehuurde) mobiele ww-bereider worden ingezet. Een alternatieve, minder preferabele methode bestaat uit chemische desinfectie van het leidingnet.

ENERGIEGEBRUIK

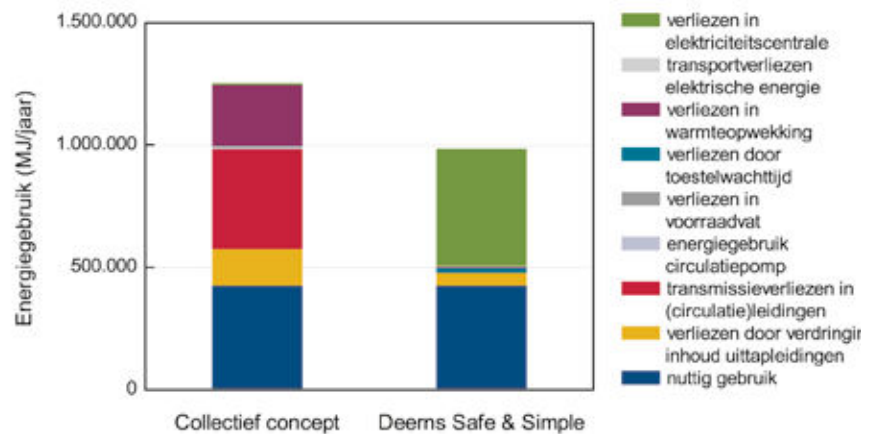
Voor zowel de collectieve installatie als de installatie op basis van het DSS-concept is een model opgesteld, waarin het (primaire) energiegebruik wordt berekend. Daarbij is aangenomen dat alle elektrische energie wordt betrokken van het landelijk elektriciteitsnet. Het opwekkingsrendement van deze elektriciteit is momenteel gemiddeld 51,7% [6]. Het resultaat van de berekening is weergegeven in figuur 2. De grote warmteverliezen in de distributieleidingen van de collectieve installatie leiden tot opwarming van de schachten en de ruimten boven het verlaagd plafond. In de zomer kan dit leiden tot een grotere koellast en daarmee een groter energiegebruik; in de winter kan het resulteren in een kleinere warmtevraag en bijgevolg een kleiner energiegebruik. Gezien de grote onzekerheid in de mate waarin deze effecten optreden zijn deze **niet** meegenomen in de berekening van het energiegebruik. Zoals verwacht treden er grote energieverliezen op in de ww-bereider en de distributieleidingen van de collectieve installatie. Het aandeel van de distributieverliezen in het totale energiegebruik wordt groter naarmate het watergebruik afneemt. In de installatie op basis van het DSS-concept treden binnen het gebouw slechts minimale verliezen op. Daar staat tegenover dat de omzetting van fossiele energie in elektriciteit gekenmerkt wordt door een laag rendement. Over het geheel gezien resulteert de installatie op basis van het DSS-concept in een lager primair energiegebruik dan de collectieve

installatie. Beide systemen bieden kansen om het primaire energiegebruik te verlagen. In een collectieve installatie zou het water kunnen worden (voor)verwarmd met behulp van restwarmte, zonnecollectoren of een warmtepomp, waardoor het primaire energiegebruik

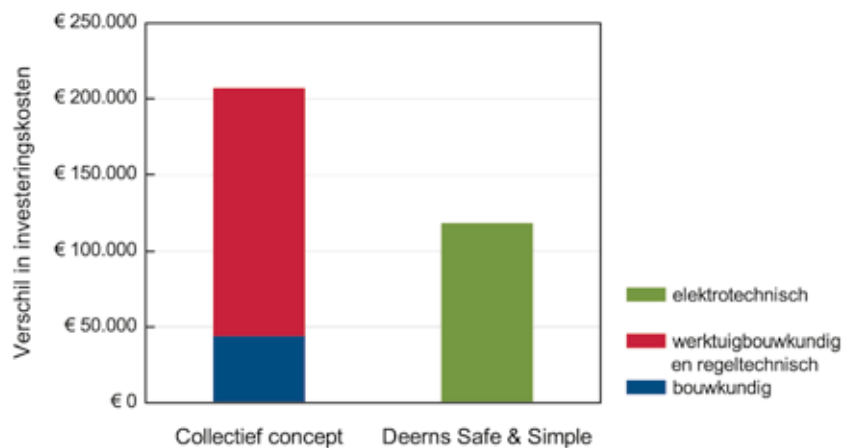
wordt gereduceerd. Wel is men daarbij nog steeds gebonden aan hoge temperaturen en continue circulatie, met de bijbehorende nadelen met betrekking tot veiligheid en beheersbaarheid. Bovendien zal er altijd een back-up installatie nodig zijn om het water, wanneer nodig, na te verwarmen. Het DSS-



-Figuur 1- Voorbeeld van een typisch verloop van de vermogensvraag van een ziekenhuis gedurende een warme zomerdag en een winterse dag. De grijze gebieden geven de piekperiodes van het douchegebruik aan.



-Figuur 2- Voorspelling van het (primaire) energiegebruik van de twee beschouwde systemen voor warmtapwaterbereiding



-Figuur 3- Vergelijking tussen de initiële investeringskosten van de twee beschouwde systemen voor warmtapwaterbereiding. De bedragen betreffen het verschil, per discipline, tussen de kosten van het ene systeem en de kosten van het andere systeem.

concept biedt vanwege de lokale plaatsing van het doorstroomtoestel goede mogelijkheden voor energieruigwinning uit afvoerwater. Daarnaast kan er gebruik worden gemaakt van duurzame energie. De veelbesproken transitie naar een duurzame energievoorziening zal naar verwachting gepaard gaan met een toenemend gebruik van elektriciteit als energiedrager, opgewekt met onder meer windenergie en zonne-energie. Ook ziekenhuizen ervaren een toenemende elektrificatie van de energievoorziening. In dit perspectief wordt met het DSS-concept in feite geanticipeerd op de toekomstige energie-infrastructuur, gebaseerd op duurzaam opgewekte elektriciteit. Ook is het een belangrijke stap in de ontwikkeling van het all-electric ziekenhuis. Door de energievoorziening volledig te baseren op elektriciteit, kan een schone, overzichtelijke en beheersbare installatie worden gerealiseerd en tegelijkertijd een hoge mate van comfort worden geboden.

■ INVESTERINGSKOSTEN

Voor beide systeemconcepten is een raming opgesteld van de benodigde investeringskosten. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen bouwkundige kosten, werktuigbouwkundige kosten (inclusief regeltechnische kosten) en elektrotechnische kosten. Vanwege de directe relatie met andere installaties zijn niet de totale investeringskosten berekend, maar uitsluitend de verschillen tussen beide installaties. Het resultaat is te zien in figuur 3. Uit de

figuur blijkt dat de bouwkundige kosten van een collectieve installatie circa €44.000 hoger zijn dan die van een installatie op basis van het DSS-concept. Dit is het gevolg van het grotere ruimtebeslag in de technische ruimte en het grotere aantal doorvoeringen in binnenwanden. De werktuigbouwkundige kosten van een collectieve installatie zijn circa €163.000 hoger dan die van een installatie op basis van het DSS-concept. Dit betreffen de kosten van de collectieve ketel, het collectieve leidingnet, de daarop aangesloten tapwatertoestellen en de benodigde regeltechnische voorzieningen, verminderd met de kosten van het totaal aan individuele elektrische doorstroomtoestellen en de daarop aangesloten uittapleidingen en tapwatertoestellen. De elektrotechnische kosten van een collectieve installatie zijn verwaarloosbaar; de kosten van het vergroten van de transformatoren, het uitbreiden van de schakel- en verdeelinrichtingen en de bekabeling voor een installatie op basis van het DSS-concept bedragen circa €118.000. Over het geheel bezien betekent dit dat de investeringskosten van een collectieve installatie circa €89.000 hoger zijn dan die van een installatie op basis van het DSS-concept. Naast de initiële investeringskosten zijn de vervangingskosten van belang. Aangenomen wordt dat een collectieve installatie een levensduur heeft van 30 jaar. Hetzelfde geldt voor de infrastructuur van een installatie op basis van het DSS concept. De elektrische

doorstroomtoestellen hebben een kortere levensduur en zullen na gemiddeld 15 jaar moeten worden vervangen.

■ LEVENSCYCLUSKOSTEN

De financiële haalbaarheid van het DSS-concept is onderzocht in een levenscycluskostenanalyse, waarin rekening is gehouden met zowel de investeringskosten als de exploitatiekosten. De exploitatiekosten omvatten de energiekosten en de kosten van het onderhoud en beheer. Bij het vaststellen van de energiekosten is uitgegaan van de energiegebruiken zoals eerder berekend en weergegeven in figuur 2. Vervolgens zijn er aannames gedaan met betrekking tot de energieprijzen en de energieprijzontwikkeling. Deze aannames gaan gepaard met grote onzekerheden, maar hebben wel een grote invloed op het resultaat. Om dit te illustreren zijn er drie scenario's vastgesteld met verschillende uitgangspunten met betrekking tot de energieprijzstijgingen, zoals gegeven in tabel 1. De werkzaamheden met betrekking tot onderhoud en beheer van een collectieve ww-installatie omvatten onder meer jaarlijkse controle op de staat en het functioneren van diverse onderdelen en het meten en registreren van de watertemperaturen. Aangenomen wordt dat dit voor het referentiegebouw resulteert in een jaarlijkse kostenpost van €4.000, gelijk aan circa €0,31 per m² bruto vloeroppervlak. De installatie op basis van het DSS-concept is nagenoeg onder-

Grootheid	Aangenomen waarde			Toelichting
Gasprijs	0.466 €/m ³			Gelijk aan de gemiddelde aardgasprijs in het tweede kwartaal van 2013 voor de gebruiksklassen niet-huishoudens met een jaarlijkse afname tussen 10 en 100 TJ, exclusief netwerkkosten, inclusief belastingen en btw [7].
Elektriciteitsprijs	0.082 €/kWh			Gelijk aan de gemiddelde elektriciteitsprijs in het tweede kwartaal van 2013 voor de gebruiksklassen niet-huishoudens met een jaarlijkse afname tussen 2.000 en 20.000 MWh, exclusief netwerkkosten, inclusief belastingen en btw [7].
Stijging energieprijzen	scenario 1 (referentie)	scenario 2	scenario 3	De referentiewaarden zijn gelijk aan de voorspelde gemiddelde jaarlijkse prijsstijgingen in de US tussen 2011 en 2040, volgens de Reference case van de US Energy Information Administration (EIA) [8].
- gas - elektriciteit	3,5% 2,0%	2,0% 2,0%	0,0% 4,0%	
Inflatie	2,2%			Gelijk aan de gemiddelde inflatie in Nederland over de afgelopen 20 jaar [9].
Discontovoet	2,5%			Reële risicovrije discontovoet zonder risico-opslag [10].
Levensduur				
- collectieve installatie	30 jaar			
- DSS, infrastructuur	30 jaar			
- DSS, doorstroomtoestellen	15 jaar			

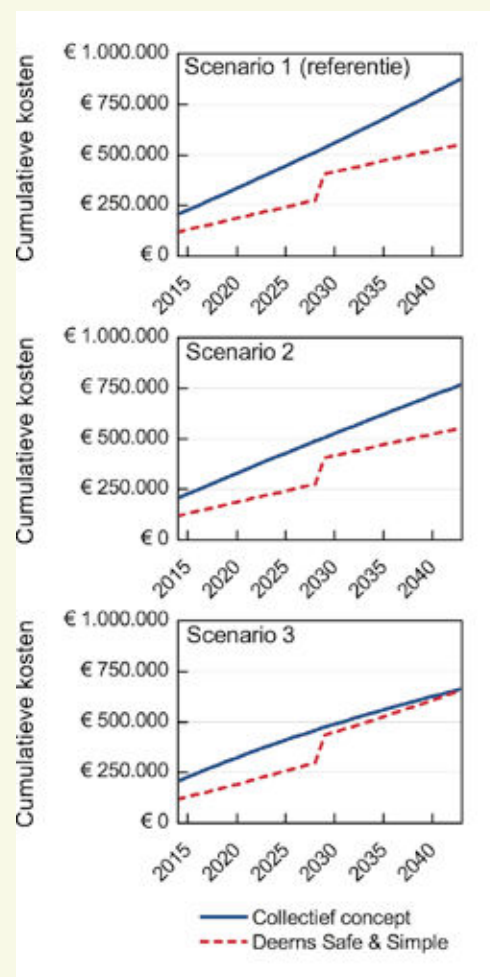
-Tabel 1- Aannames zoals gehanteerd in de levenscycluskostenanalyse

houdsvrij. Storingen en klachten zullen in beide installaties voorkomen en zijn daarom niet meegenomen in de vergelijkende berekening. Om de netto contante waarde van de diverse onderdelen over de looptijd van de analyse te bepalen zijn aannames gedaan voor de inflatie en discontovoet. Zie voor een overzicht van de uitgangspunten zoals gehanteerd in de levenscycluskostenanalyse tabel 1. Het resultaat van de levenscycluskostenanalyse is weergegeven in figuur 4. Dit betreft een grafische weergave van het verloop van de cumulatieve kosten van beide systeemvarianten over een periode van 30 jaar, voor de drie genoemde scenario's. De bedragen in de grafiek betreffen de netto contante waarden. In de figuur is te zien dat de initiële investeringskosten van een installatie op basis van het DSS-concept lager zijn dan die van een collectieve installatie. Wel hebben de elektrische doorstroomtoestellen naar verwachting een kortere levensduur dan de overige componenten. Dit betekent dat er tussentijdse investeringen nodig zijn, hetgeen in de grafieken terugkomt als een sprong in de cumulatieve kosten. Ook de exploitatiekosten zijn lager voor een installatie op basis van het DSS-concept dan die voor een collectieve installatie met direct-gestookt voorraadtoestel. Het is aannemelijk dat de gasprijzen sneller zullen stijgen dan de elektriciteitsprijzen, zoals in het referentiescenario. Hierdoor wordt het verschil tussen de energiekosten van beide systemen steeds groter. Dit heeft tot resultaat dat de levenscycluskosten van een installatie op basis van het DSS-concept lager zullen zijn dan die van een collectieve installatie. Hetzelfde geldt voor de situatie waarin gas en elektriciteit een gelijke prijsontwikkeling doormaken, zoals in scenario 2. Alleen wanneer de elektriciteitsprijzen een aanzienlijk sterkere stijging vertonen dan de gasprijzen, zoals in scenario 3, zal een installatie op basis van het DSS-concept tot hogere levenscycluskosten leiden dan een collectieve installatie.

CONCLUSIE

Geconcludeerd kan worden dat het primaire energiegebruik van een warmtapwatervoorziening op basis van het DSS-warmtapwaterconcept in het beschouwde referentiegebouw kleiner is dan dat van een collectieve installatie met een gasgestookt voorraadtoestel. De installatie vergt bovendien een kleinere investering en leidt naar verwachting tot lagere levenscycluskosten. Het concept biedt daarmee niet alleen grote voordelen op het gebied van veiligheid en beheersbaarheid van de installatie, maar is ook vanuit energetisch en financieel oogpunt een gunstig alternatief voor de conventionele collectieve installatie.

-Figuur 4- Vergelijking van de voorspelde levenscycluskosten van de twee beschouwde systeemconcepten voor warmtapwaterbereiding, toegepast in het referentiegebouw, over een looptijd van 30 jaar voor de drie scenario's zoals gegeven in tabel 1



REFERENTIES

1. NEN 1006+A3:2011 nl, Algemene voorschriften voor leidingwaterinstallaties (AVWI-2002) (2011)
2. Samenwerkende Drinkwaterbedrijven, Waterwerkblad 1.4 G, Beheer van leidingwaterinstallaties (oktober 2011)
3. Henk Lodder en Renske Kind, Veilige, betaalbare warmtapwaterinstallatie met decentrale elektrische geisers, VV+ (januari 2014) pp. 20-23
4. Samenwerkende Drinkwaterbedrijven, Waterwerkblad 4.4 A, Warmtapwaterinstallatie; Leidingontwerp, wachttijden, toestellen en temperatuurregeling (september 2007)
5. TVVL Expertgroep ST, Rapport ST-26 'Rendementsverbetering bij warmtebronnen van warmtapwatersystemen (november 2011)
6. Centraal Bureau voor de Statistiek, Rendementen en CO₂-emissie van elektriciteitsproductie in Nederland, update 2011 (2013).
7. Centraal Bureau voor de Statistiek, Aardgas en elektriciteit, gemiddelde prijzen van eindverbruikers, <http://statline.cbs.nl/StatWeb/?LA=nl> (4 april 2014).
8. US Energy Information Administration (EIA). Annual Energy Outlook 2013 (April 2013).
9. Centraal Bureau voor de Statistiek. Consumentenprijzen; inflatie vanaf 1963, <http://statline.cbs.nl/StatWeb/?LA=nl> (4 april 2014).
10. Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KIM). Advies te hanteren discontovoet bij de Life Cycle Cost analyse (2012).