
| | | | |
|-------------------|--|----------------|------------------|
| Project: | Kosten aardgasvrije warmteconcepten nieuwbouwwoningen | Datum: | 6 september 2018 |
| Onderwerp: | Aardgasvrije warmteconcepten en infrarood stralingspanelen | Status: | Definitief |
| Auteur: | Peter Heijboer Email: heijboer@dwa.nl Telefoon: 06 - 516 360 17 | | |

1 Inleiding en uitgangspunten

Op verzoek van Lente-akkoord/NEPROM heeft DWA in maart 2018 een kostenanalyse uitgevoerd voor toepasbare aardgasvrije warmteconcepten. In deze nieuwe versie van de notitie is de inzet van infrarood stralingspanelen voor ruimteverwarming als aardgasvrij warmteconcept toegevoegd.

Met het oorspronkelijke document van 15 maart 2018 als vertrekpunt geven diverse aanpassingen en aanvullingen inzicht in het effect van de stralingspanelen. In hoofdstuk 3 volgt een nadere beschouwing van de mogelijke warmtevraagreductie als gevolg van de toepassing van stralingspanelen. Dit in samenhang met comfortaspecten. Tot slot volgt een gevoeligheidsanalyse op het kostenplaatje.

Als basis is voor alle kostenanalyses de referentie tussenwoning genomen die door RVO is gedefinieerd. Deze woning heeft een gebruiksoppervlak van 124 m².

Het uitgangspunt is dat de woning als Zeer Energiezuinige Nieuwbouw (ZEN) uitgevoerd wordt. De isolatiewaarden van de gebouwschil zijn strenger genomen dan de minimumeisen van het Bouwbesluit. Het bouwfysische pakket bestaat uit:

- Rc gevel: 4,5 m²K/W
- Rc vloer: 4,0 m²K/W
- Rc dak: 7,0 m²K/W
- U-waarde glas met kozijn en deur: 1,0 W/m²K
- Luchtdichtheid (qv10): 0,30 dm³/s per m²
- Balansventilatie met warmteterugwinning.

Dit bouwfysische pakket is niet bedoeld om in alle gevallen de huidige EPC-eis van 0,40 te behalen, maar is gebruikt voor het vaststellen van de jaarlijkse warmtevraag en de benodigde verwarmingscapaciteit voor ruimteverwarming. De jaarlijkse warmtevraag per woning is 8,2 GJ voor ruimteverwarming en 10,1 GJ voor de bereiding van warm tapwater.

2 Aardgasvrije warmteconcepten

2.1 Definitie van de concepten

In deze notitie is een kostenanalyse opgezet voor de volgende aardgasvrije warmteconcepten:

1 Warmtepomp met PVT panelen

In dit concept wordt met een elektrische warmtepomp zonnewarmte gewonnen uit PVT panelen. Een PVT paneel is een gecombineerd zonnepaneel met PV (elektraproductie) en productie van Thermische warmte uit de zonnestraling (T). De warmtepomp brengt deze zonnewarmte naar de voor ruimteverwarming en tapwaterverwarming bruikbare temperatuurniveaus. Dit concept is individueel per woning toepasbaar.

2 Warmtepomp met bodemcollector

Met een elektrische warmtepomp wordt bodemwarmte gewonnen uit een bodemcollector. Een voorbeeld van een bodemcollector is een gesloten bodemlus die tot op 150 à 200 meter diepte is aangebracht. Dit concept is individueel per woning toepasbaar. Dit concept voorziet ook in duurzame koeling.

3 Warmtepomp op buitenlucht

Met een elektrische warmtepomp wordt omgevingswarmte gewonnen uit buitenlucht en opgewaardeerd naar de juiste temperatuurniveaus. Dit concept is individueel per woning toepasbaar. Dit concept kan eventueel ook in koeling voorzien, maar verbruikt hier dan relatief veel elektriciteit voor.

4 Warmtepomp met collectief bronnet (circa 12°C)

In dit concept wordt bronenergie aangeleverd via een collectief bronnet. De in elke woning te plaatsen elektrische warmtepomp waardeert dit op tot de juiste temperatuurniveaus. De bronenergie is afkomstig uit een wko-bron. Deze wko-bron wordt 's zomers geladen met warmte uit oppervlaktewater, rioolwarmte en/of restwarmte afkomstig uit koeling van gebouwen. Over een bronnet kan zowel warmte als koude worden getransporteerd, wat het mogelijk maakt ook in duurzame koeling te voorzien en restwarmte- en koude tussen afnemers onderling uit te wisselen. Bronnetten worden ook wel 'smart thermal grids' genoemd.

5 Middentemperatuur warmtenet (40°C)

Dit concept gaat uit van de aanleg van een warmtenet waarmee warmte van circa 40°C aan de woningen geleverd wordt. Deze warmte van 40°C kan met een collectieve warmtepomp geproduceerd worden of kan afkomstig zijn van een restwarmtebron, zoals een datacenter of bedrijf. Omdat voor tapwaterverwarming hogere temperaturen nodig, gaat dit concept uit van toepassing van boosterwarmtepompen voor het naverwarmen tot 55 à 60°C.

6 Hoogtemperatuur stadswarmtenet (>70°C)

Met warmtenetten wordt gecentraliseerd geproduceerde warmte van circa 70 tot 90°C naar afnemers getransporteerd. Hierbij kunnen één of meer verschillende warmtebronnen worden toegepast, bijvoorbeeld een geothermiebron, biomassacentrale of restwarmte uit een industrieel proces. Dit concept voorziet niet in koeling en kan alleen op collectieve schaal worden ingezet.

7 Infrarood stralingspanelen

Zoals aangegeven in de inleiding is deze notitie aangevuld met een extra concept om het effect van infrarood stralingspanelen voor ruimteverwarming inzichtelijk te maken. Voor de bereiding van warm tapwater is een elektrisch verwarmd boiler vat opgenomen.



Figuur 1 Infrarood stralingspanelen aan het plafond, bron: Etherma

2.2 Investerings

Deze paragraaf toont de investeringsraming van de verschillende warmteconcepten, op basis van de volgende uitgangspunten.

- De bedragen zijn exclusief btw en hebben het prijspeil 2018.
- Voor het goed functioneren van de warmtepompconcepten is laagtemperatuurverwarming (vloerverwarming) een voorwaarde.
- Niet alle warmteconcepten voorzien in de levering van koude. Op dat punt zijn de investeringen strikt genomen dus niet vergelijkbaar.
- De concepten met warmtepompen gaan uit van de toepassing van een boilervat voor warmtapwater van 150 tot 180 liter.
- In concept 1 is alleen de meerprijs voor winning van warmte via de PVT-panelen meegewogen en dus niet de elektriciteitsproductie. De PVT-panelen kunnen dienen als vervanging voor dakpannen. Dit prijsvoordeel is nog niet meegewogen.
- In concept 5 is uitgegaan van warmteproductie van 40°C via een collectieve warmtepomp die gekoppeld is aan een bodemlus. Als investering voor de boosterwarmtepomp (BWP) is een bedrag van 4.500,- euro aangehouden.
- Deze investeringsprognose betreft een raming van de bouwkosten op kengetal niveau exclusief toeslagen van de ontwikkelaar. Uitgangspunt is een kleinschalige projectontwikkeling. Bij seriematige bouw met optimale inkoopvoorwaarden en ketenaanpak kan de investering van de diverse warmtepompconcepten dalen met circa 2.000 euro per woning.
- Voor de aansluitkosten (BAK) op het hoge temperatuur warmtenet is een voorlopige stelpost opgenomen. De hoogte van deze BAK is sterk afhankelijk per situatie.
- In de tabel is de in 2018 verkrijgbare ISDE-subsidie weergegeven. Voorwaarde om voor deze subsidie in aanmerking te komen is dat de warmtepomp niet nodig is om aan de wettelijke epc-eis te voldoen. Er moeten dus voldoende pv-panelen geplaatst worden. Bij de warmteconcepten #2 t/m #5 is dit een aandachtspunt.

Tabel 2.1 Investeringsraming in euro per woning exclusief btw

| Warmteconcept | #1 IWP PVT paneel | #2 IWP buitenlucht | #3 IWP bodemplus | #4 IWP w-net 10°C | #5 w-net 40°C, BWP | #6 w-net 70°C | #7 IR- panelen |
|------------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------|-------------------|
| Warmtepomp met 180 liter boilervat | 7.000 | 9.000 | 7.000 | 7.000 | 5.000 | - | - |
| Warmtebron en distributie | 6.000 | incl. | 4.200 | 5.800 | 10.100 | 6.000 | - |
| IR-stralingspanelen | - | - | - | - | - | - | 4.300 |
| Elektrische boilervat | - | - | - | - | - | - | 1.200 |
| Totaal warmteconcept | 13.000 | 9.000 | 11.200 | 12.800 | 15.100 | 6.000 | 5.500 |
| ISDE-subsidie (*) | p.m. | -1.900 | -2.800 | -2.800 | -2.500 | - | - |
| Investerings totaal | | 7.100 | 8.400 | 10.000 | 12.600 | 6.000 | 5.500 |

PVT = gecombineerd zonnepaneel voor productie van elektra (PV) en zonthermische warmte (T)
IWP = Individuele WarmtePomp voor zowel ruimteverwarming als tapwaterverwarming
BWP = BoosterWarmtePomp voor tapwaterverwarming

2.3 Jaarlasten energie en installatie met TCO-analyse

Deze paragraaf toont de opbouw van de jaarlijkse kosten van de verschillende warmteconcepten, op basis van de volgende uitgangspunten.

- De bedragen zijn exclusief btw en hebben het prijspeil 2018.
- De variabele kosten voor elektriciteit zijn gebaseerd op de prognose van het totaal verbruik van elektriciteit. Dit betreft de som van gebouwgebonden installaties en een stelpost voor de niet-gebouwgebonden apparatuur. Indien het warmteconcept niet voorziet in de levering van koude, dan is een forfaitair elektriciteitsverbruik voor een traditionele koelunit opgenomen in de post gebouwgebonden installaties.
- Voor variant 6 zijn de maximale warmtetarieven conform het tariefadvies van ACM overgenomen.
- De Total Costs of Ownership (TCO) zijn genomen over een periode van 15 en 30 jaar. Daarin is de initiële investering opgenomen en de jaarlijkse energie- en onderhoudskosten. In de TCO over 30 jaar zijn ook de benodigde herinvesteringen opgenomen in verband met de levensduur van de componenten in de verschillende warmteconcepten.

Uitgangspunten levensduur voor herinvesteringen:

- Warmtepomp en combiketel: na 15 jaar forse revisiebeurt of vervanging
- Bodemplussen, wko, distributienetten: levensduur 30 jaar met alleen na 15 jaar beperkte vervanging van onder andere circulatiepompen

Tabel 2.2 Prognose jaarlasten met TCO in euro per woning exclusief btw

| Warmteconcept | #2 IWP buitenlucht | #3 IWP bodemplus | #4 IWP w-net 10°C | #5 w-net 40°C, BWP | #6 w-net 70°C | #7 IR- panelen |
|-----------------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------|-------------------|
| Duurzame koeling | Nee | Ja | Ja | Ja | Nee | Nee |
| Jaarlijkse lasten | | | | | | |
| Inkoop warmte | - | - | - | - | 364 | - |
| Elektriciteit woning exclusief pv | 1.205 | 1.031 | 1.018 | 1.180 | 885 | 1.937 |
| Vastrecht elektrisch | 223 | 223 | 223 | 223 | 223 | 223 |
| Vastrecht warmte | - | - | - | - | 446 | - |
| Heffingskorting energiebelasting | -309 | -309 | -309 | -309 | -309 | -309 |
| Onderhoud/beheer | 250 | 225 | 321 | 312 | - | - |
| Variabel gas | - | - | - | - | - | - |
| Vastrecht gas | - | - | - | - | - | - |
| Som jaarlasten | 1.369 | 1.170 | 1.254 | 1.407 | 1.610 | 1.851 |

| Warmteconcept | #2 IWP buitenlucht | #3 IWP bodemplus | #4 IWP w-net 10°C | #5 w-net 40°C, BWP | #6 w-net 70°C | #7 IR- panelen |
|-------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------|-------------------|
| Kostenanalyse TCO | | | | | | |
| TCO over 15 jaar | 27.497 | 25.822 | 28.625 | 33.524 | 30.830 | 33.312 |
| TCO over 30 jaar | 51.559 | 45.355 | 50.151 | 58.809 | 57.387 | 62.142 |

Voor de tussenwoning geldt dat variant 3 met bodemplus financieel gezien het meest aantrekkelijk is. Daarna volgen de varianten 2 en 4.

Variant 5 en 6 zijn met name geschikt voor projecten met kleine appartementen. Variant 5 gaat financieel beter scoren als er direct bruikbare restwarmte van 30 tot 40°C in de omgeving beschikbaar is, zoals van een datacenter.

Het warmteconcept met de infrarood stralingspanelen kent de laagste investering. Door de relatief hoge energiekosten voor zuiver elektrisch verwarmen komt de TCO echter hoger uit dan de andere warmteconcepten. Net als bij variant 5 en 6 is infraroodverwarming beter geschikt voor kleine appartementen. De gevoeligheidsanalyse zoals opgezet in paragraaf 3.3 omvat een aantal parameters waarbij de TCO waarden van infrarood stralingspanelen verder verbeteren.

2.4 Kosten en opbrengsten zonne-energie

De warmteconcepten kunnen aangevuld worden met zonne-energiesystemen. De kostenkengetallen voor deze systemen zijn (exclusief btw):

- PV-panelen
 - Investering: circa € 185,- per m² (270 Watt_{piek} per paneel, € 1,10 per Watt_{piek})
 - Opbrengst: 135 kWh per m² (oriëntatie West, hellingshoek 43°)
 Er zijn ook PV-panelen op de markt met hogere opbrengsten van 300 tot 340 Watt_{piek}. De investering is dan echter ook hoger.
- Thermische zonnecollector
 - Investering: circa € 2.500,- voor een vlakke plaat zonnecollector van 2,5 m² met boilervat
- Opbrengst voor systeem collectoroppervlak van 2,5 m² = 4,8 GJ

Noot: bij een aardgasvrije woning gaat een thermische zonnecollector concurreren met de warmteproductie van een warmtepomp of het elektrisch verwarmd boilervat.

3 Verdere uitwerking infrarood stralingspanelen

3.1 Achtergrondstudie

DWA heeft een beknopte evaluatie uitgevoerd van de impact van infraroodverwarming op de mogelijke reductie van de warmtevraag, dit in samenhang met het thermisch comfort. Het betreft de effecten zoals gedocumenteerd door leveranciers en de branchevereniging van leveranciers van infraroodverwarming.

Het doel van de evaluatie is het toetsen van de uitgangspunten voor de warmtebehoefte van woningen voor het doorrekenen van aardgasvrije warmteconcepten. De branchevereniging gaat, in door DWA ontvangen documentatie uit van een warmtevraag voor ruimteverwarming die 21% lager ligt dan bij verwarming met radiatoren [2]. Op de website van de branchevereniging worden getallen genoemd tot 30% [12]. Omdat de warmtebehoefte sterk samenhangt met het geleverde comfortniveau is dit in de evaluatie meegenomen.

Beoordeeld is of de gepresenteerde inzichten in leveranciersdocumentatie stroken met wat bekend is uit de huidige comforttheorie en Nederlandse ontwerprichtlijnen.

De leveranciersdocumentatie bevat geen referenties naar praktijkmetingen. Er is daarom geen beoordeling opgenomen van praktijkmetingen.

Resultaten evaluatie infraroodverwarming

De conclusies van de evaluatie kunnen als volgt worden samengevat:

De gerapporteerde besparing van 21% is hoogstwaarschijnlijk een overschatting en verdient bijstelling van de uitgangspunten en herberekening (zie bijlage I). De besparing wordt gebaseerd op een lagere luchttemperatuur. De verlaging van de luchttemperatuur bij toepassing van IR-panelen is aan grenzen gebonden. De speelruimte hiervoor, waarbij bewoners nog een prettig comfort ervaren, is hoogstwaarschijnlijk veel kleiner dan verondersteld wordt door leveranciers. Daarnaast is het zo dat de hogere stralingstemperatuur -die de lagere luchttemperatuur moet compenseren- ook energie vraagt. Voor zover duidelijk uit de documentatie wordt dit niet meegenomen in de besparingsberekening.

Voor aardgasvrije concepten met infraroodverwarming wordt daarom aanbevolen om vooralsnog met dezelfde energievraag te rekenen als voor vloerverwarming. Verder wordt aanbevolen om de comfortaspecten en energievraag nader te onderzoeken en aan de hand van praktijkcases te analyseren.

3.2 EPC en BENG

Voor zowel warmteconcept #3 met bodemwarmtepomp als warmteconcept #7 met IR-panelen zijn EPC berekeningen conform NEN 7120 gemaakt. Onderstaande tabel toont de energieprestatie per warmteconcept.

Tabel 3.1 Energieprestatie per warmteconcept

| Warmteconcept | #3 IWP bodemlus | #7 IR-panelen |
|--|-----------------|---------------|
| Duurzame koeling | Ja | Nee |
| BENG-indicatoren met grenswaarden | | |
| BENG (1) energiebehoefte < 25 kWh/m ² | 29,0 | 29,0 |
| BENG (2) primair energiegebruik <25 kWh/m ² | 35,4 | 144,8 |
| BENG (3) hernieuwbare energie > 50% | 46% | 0% |
| Energieprestatie | | |
| Epc-waarde | 0,32 | 1,05 |

Het huidige Bouwbesluit gaat uit van een maximaal toelaatbare epc van 0,40. Het warmteconcept #3 met bodemwarmtepomp voldoet royaal aan deze eis. Concept #7 met de infrarood stralingspanelen voldoet niet aan de vereiste epc-waarde. Alleen door veel pv-panelen toe te voegen kan aan de wettelijke epc-eis voldaan worden. Dit geldt eveneens voor de BENG (2) criterium dat eisen stelt aan het maximale primaire energieverbruik.

Toelichting op BENG-indicatoren

De volgende versie van de epc-rekenmethodiek is momenteel in ontwikkeling onder de naam bijna energieneutrale gebouwen (BENG). Op basis van de handreiking BENG is een eerste ruwe indicatie te geven van het effect van de nieuwe rekenregels. De BENG-rekenmethodiek toetst de energieprestatie van het gebouw volgens de bouwaanvraag op de volgende drie niveaus.

- 1 Energiebehoefte per m² gebruiksoppervlak, exclusief effect opwekking, te vergelijken met de eerste trap van de huidige epc berekeningsmethodiek. Voor woningbouw is de voorlopige maximumeis 25 kWh per m². De onderzochte referentiewoning voldoet nog niet aan deze eis.
- 2 Primair energiegebruik per m² gebruiksoppervlak, inclusief effect opwekking, te vergelijken met de tweede trap van de huidige epc berekeningsmethodiek. Voor woningbouw is de voorlopige maximumeis 25 kWh per m². Met warmtepomptechnologie en inzet van een aantal pv-panelen is deze eis goed haalbaar.
- 3 Aandeel duurzame of hernieuwbare energie, voor woningbouw is de voorlopige minimumeis 50%. De concepten met warmtepomptechnologie voldoen gemakkelijk aan deze eis, omdat de inzet van omgevingswarmte uit buitenlucht of bodemlus als hernieuwbare energie meetelt. Uiteraard scoren pv-panelen ook gunstig voor het behalen van deze eis.

3.3 Gevoeligheidsanalyse

Deze paragraaf brengt een aantal gevoeligheden in beeld voor het warmteconcept met infrarood stralingspanelen. Met de voorgaande berekening als vertrekpunt zijn de volgende parameters gewijzigd.

- 1 Reductie warmtevraag voor ruimteverwarming met 20% in verband met mogelijke stralingscorrectie infraroodverwarming (zie echter paragraaf 3.1).
- 2 Aanpassing energielasting conform voorstel Klimaatakkoord, namelijk aardgas 20 cent per m³ erbij en elektriciteit 7,34 cent per kWh eraf.
- 3 Betere isolatiewaarden gebouwschil op passief huisniveau in plaats van ZEN niveau
De op te stellen verwarmingscapaciteit daalt daardoor.
De jaarlijkse warmtevraag voor ruimteverwarming daalt naar 15 kWh/m². Voor de hele woning is dat dan 6,7 GJ in plaats van 8,2 GJ.
- 4 Betere isolatiewaarden gebouwschil op passief huisniveau zoals in de vorige variant, echter nu aangevuld met douchewater warmteterugwinning

Tabel 3.2 Gevoeligheidsanalyse infrarood stralingspanelen, in euro per woning exclusief btw

| Warmteconcept | #70 IR-panels | #71 IR-panels | #72 IR-panels | #73 IR-panels | #74 IR-panels |
|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Reductie warmtevraag met 20% | Nee | Ja | Nee | Nee | Nee |
| Aanpassing energielasting | Nee | Nee | Ja | Nee | Ja |
| Niveau isolatiewaarden gebouwschil | ZEN | ZEN | ZEN | Passief huis | Passief huis |
| Warmteterugwinning uit douchewater | Nee | Nee | Nee | Nee | Ja |
| Investering (*) | € 5.500 | € 5.500 | € 5.500 | € 5.400 | € 6.000 |
| Jaarlijkse lasten | | | | | |
| Inkoop warmte | - | - | - | - | - |
| Elektriciteit woning exclusief pv | € 1.937 | € 1.858 | € 1.120 | € 1.867 | € 1.668 |
| Vastrecht elektrisch | € 223 | € 223 | € 223 | € 223 | € 223 |
| Vastrecht warmte | - | - | - | - | - |
| Heffingskorting energielasting | -€ 309 | -€ 309 | -€ 309 | -€ 309 | -€ 309 |
| Onderhoud/beheer | - | - | - | - | - |
| Som jaarlasten | € 1.851 | € 1.772 | € 1.034 | € 1.781 | € 1.582 |
| Kostenanalyse TCO | | | | | |
| TCO over 15 jaar | € 33.312 | € 32.129 | € 21.053 | € 32.158 | € 29.784 |
| TCO over 30 jaar | € 62.142 | € 59.774 | € 37.623 | € 59.933 | € 54.584 |

Noot: dit is **exclusief** de meerinvestering voor betere isolatiewaarden gebouwschil op passief huisniveau

Conclusies

- Concept #71 laat zien dat een eventuele reductie van 20% op de warmtebehoefte voor ruimteverwarming nauwelijks effect heeft op de TCO. Dit geldt ook voor concept #73 waarbij de schilisolatie op passief huis niveau is gebracht.
- Een daling van het elektriciteitsstarief (concept #72) leidt zoals te verwachten wel tot een forse verbetering van de TCO. Warmtepompconcepten zullen hier echter ook van gaan profiteren.
- Ook toepassing van douchewater warmteterugwinning (concept #74) geeft een betere TCO.

Het warmteconcept met de infrarood stralingspanelen kan eventueel nog verder verbeteren door inzet van de thermische zonnecollector, zoals aangegeven in het vorige hoofdstuk.

Bijlage I Evaluatie impact infraroodverwarming

DWA heeft een beknopte evaluatie uitgevoerd van de impact van infraroodverwarming op het thermisch comfort en de mogelijke verlaging van de warmtebehoefte in woningen. Het betreft de effecten zoals gedocumenteerd door leveranciers en de branchevereniging van leveranciers van infraroodverwarming.

Het doel van de evaluatie is het toetsen van de uitgangspunten voor de warmtebehoefte van woningen voor het doorrekenen van aardgasvrije warmteconcepten. De branchevereniging gaat uit van een warmtevraag voor ruimteverwarming die 21% lager ligt dan bij verwarming met radiatoren. Omdat de warmtebehoefte sterk samenhangt met het geleverde comfortniveau wordt dit in de evaluatie meegenomen.

Beoordeeld is of de gepresenteerde inzichten in leveranciersdocumentatie stroken met wat bekend is uit de huidige comforttheorie en Nederlandse ontwerprichtlijnen.

De leveranciersdocumentatie bevat geen referenties naar praktijkmetingen, er is daarom geen beoordeling opgenomen van praktijkmetingen.

Resultaten evaluatie infraroodverwarming

De conclusies van de evaluatie zijn als volgt samengevat.

1 Verlaging warmtebehoefte voor ruimteverwarming

- a De gedocumenteerde effecten van de warmtebehoefte leunen sterk op een verschil tussen de stralingstemperatuur en de luchttemperatuur [1,2]. Door een hogere stralingstemperatuur als gevolg van de infraroodverwarming zou een veel lagere luchttemperatuur in de te verwarmen ruimtes gehanteerd kunnen worden. Met betrekking tot het potentieel van deze temperatuurverlaging zijn verschillende getallen gevonden in de onderzochte documentatie. De documentatie van infraroodverwarming geeft getallen in de range van een temperatuurverlaging van 1,8°C [2] tot 5°C [3].
- b De potentiële verlaging van de warmtebehoefte wordt vervolgens gerelateerd aan de verlaagde luchttemperatuur. Dit is onterecht. Het opwarmen van de wanden door straling leidt immers tot extra vermogensverlies (extra transmissieverlies, zie figuur 2). Dit compenseert de energiebesparing door een lagere luchttemperatuur. De warme wand warmt bovendien de lucht weer op (zie extra pijl naar links in figuur 2 rechts). Hierdoor treedt er alsnog een vereffening op tussen de lucht en de wandtemperatuur.
- c In verband met het onder b. genoemde effect wordt in Nederlandse ontwerprichtlijnen uitgegaan van het gemiddelde van de stralingstemperatuur en de luchttemperatuur voor het berekenen van transmissieverliezen (de zogenoemde operationele temperatuur). Alleen voor ventilatie- en infiltratieverliezen is het toegestaan te rekenen met een lagere luchttemperatuur [4]. Voor vloerverwarming, wandverwarming en betonkernactivering mag gerekend worden met een luchttemperatuur die 1°C lager ligt. Voor geïsoleerde woningen met een R_c -waarde groter of gelijk van 3,5 m²·K/W blijft het effect beperkt tot 0,5°C [4].

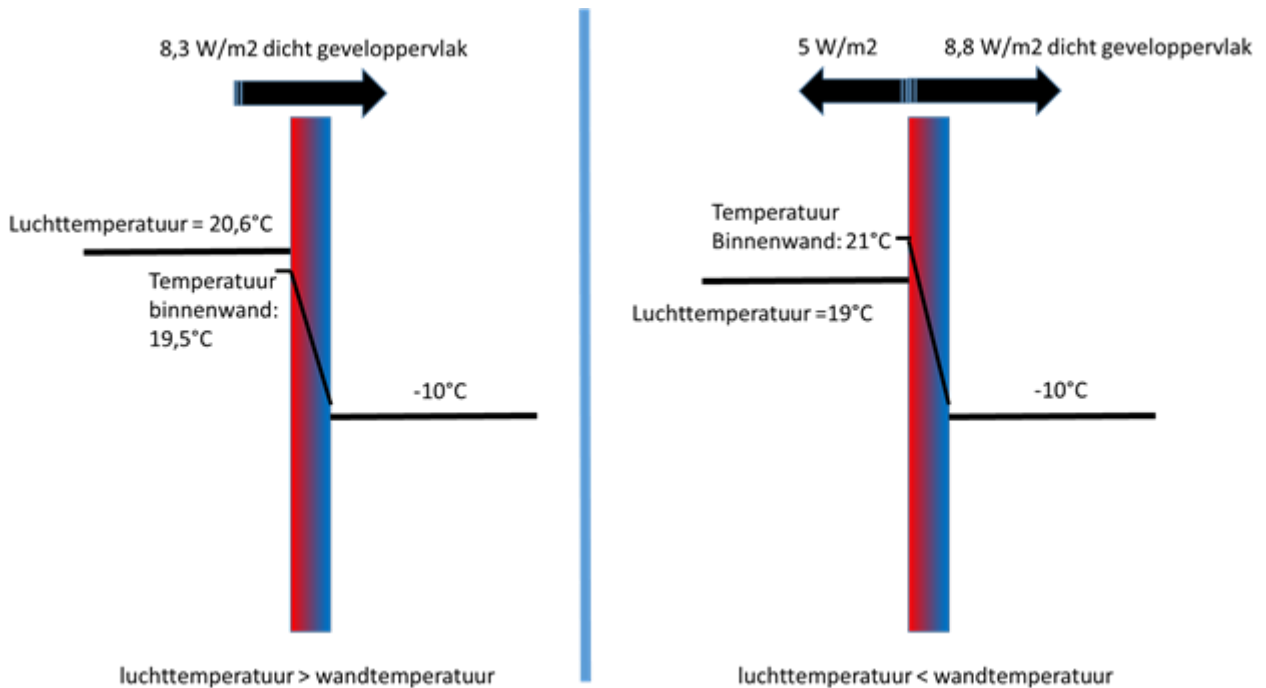
2 Comfort

- a Voor de grote verschillen tussen de luchttemperatuur en de stralingstemperatuur wordt in de bronnen vooral verwezen naar één comfortdiagram. Het comfortdiagram waarnaar verwezen wordt, kan leiden tot een verschil van 7°C tussen lucht- en stralingstemperatuur [1,6]. Bij het gehanteerde comfortdiagram ontbreken echter referenties en de randvoorwaarden voor toepassing van het diagram. Bovendien dateert het van voor 1968 [7], waardoor recente inzichten in comfortbeleving niet zijn meegenomen [5]. Het comfortdiagram leidt tot uitkomsten die niet stroken met uitkomsten van soortgelijke diagrammen uit Nederlandse en Duitse literatuur [8,9] en met de uitkomsten van meer recente comforttheorie. Het invullen van een luchttemperatuur van 15°C en een stralingstemperatuur van 22°C in een gangbare comfortevaluatietool van Stichting ISSO leidt tot een percentage klagers in de range van 22-56%. Hierbij zijn representatieve randvoorwaarden toegepast voor kleding en het activiteitsniveau. Kortom: naar verwachting leidt dit verschil van 7°C tussen lucht- en stralingstemperatuur tot substantiële klachten.
- b De documentatie houdt geen rekening met zogenoemde stralingsasymmetrie. Als je dicht bij het stralingspaneel 'ziet' een deel van je lichaam vooral het stralingspaneel met een hoge temperatuur. Een ander deel 'ziet' de wanden en meubels met een veel lagere temperatuur.

Uit literatuur is bekend dat asymmetrische straling leidt tot klachten [5]. Dit aspect van IR-panels vraagt om nader onderzoek.

Aanbeveling

De rapporteerde besparing van 21% is hoogstwaarschijnlijk een overschatting en verdient bijstelling van de uitgangspunten en herberekening. Voor aardgasvrije concepten met infraroodverwarming wordt aanbevolen om met dezelfde energievraag te rekenen als voor vloerverwarming.



Figuur 2 Hogere wandtemperaturen leiden tot extra vermogensverlies aan de buitengevel (voorbeeld Rc-waarde = $3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$, operationele temperatuur = 20°C , buitentemperatuur = -10°C).

Referenties

- [1] <https://www.ig-infrarood.nl/faq-items/hoe-werkt-infraroodverwarming/> (laatst bezocht 12 juni 2018)
- [2] Efficiency berekening infraroodverwarming als basis voor normering. IG-Infrarood. Documentatie ontvangen door DWA 23 juni 2018.
- [3] Nano Infrarood warmtepanelen. Energiezuinig door nanotechnologie. Brochure Degree-n.
- [4] ISSO 51, Warmteverliesberekening voor woningen en woongebouwen. Stichting ISSO Rotterdam, 2017
- [5] ISSO 74 Thermische behaaglijkheid. Stichting ISSO Rotterdam, 2014
- [6] Meier, C., Heizen wie die Sonne, Raum&Zeit 2006.
- [7] Loewer, H., Klimatechnik, Grundlagen und anwendungen der luftkonditionierung. Springer Verlag 1968.
- [8] Boeke, A.W., van der Kaaij, J.A., Klimaatregeling A, TU-Delft 1983
- [9] Recknagel, Sprenger, Hönnmann, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, 1985.

- [10] <https://www.ig-infrarood.nl/veelgestelde-vragen/> is er gevaar voor verbranding? (laatst bezocht 21 augustus)
- [11] NEN-EN-ISO 7730. Ergonomics of the thermal environment. Third edition 2005.
- [12] [https://www.ig-infrarood.nl/veelgestelde-vragen/hoe kan de energiebesparing worden bereikt?](https://www.ig-infrarood.nl/veelgestelde-vragen/hoe-kan-de-energiebesparing-worden-bereikt?) (laatst bezocht 21 augustus 2018)