



Overzicht aanpassingen Vesta MAIS



Overzicht aanpassingen Vesta MAIS

Delft, CE Delft, juli 2019

Publicatienummer: 19.190141.105

Energievoorziening / Warmte / Transport / Distributie / Woningen / Kosten
VT: Validatie / Rekenmodellen

Deze notitie is opgesteld door: Katja Kruit en Emma Koster

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

1 Inleiding

In september 2019 gaat het PBL een Startanalyse uitvoeren met het Vesta MAIS-model. Om dit model te valideren met marktpartijen zijn validatiesessies georganiseerd. Het Expertisecentrum Warmte (ECW) heeft CE Delft gevraagd de validatiesessies op 1 en 24 april 2019 (warmtenetten) en 11 april 2019 (conversietechnieken) voor te bereiden, een presentatie te geven en de resultaten te verwerken. Deze notitie is het product van dit proces.

Het startpunt voor de validatiesessies waren de kostencomponenten, zoals opgenomen in de februari 2019-versie van Vesta MAIS. De deelnemers van de validatiesessies hebben per onderdeel van tevoren relevante stukken en voorbeeldberekeningen in een Excelsheet ontvangen.

Deze notitie beschrijft het commentaar op de modellering en parameters dat is ontvangen van de deelnemers aan de validatiesessies. Per onderdeel wordt besproken:

- Overzicht van het commentaar.
- Eventueel: Analyse van het commentaar.
- Voorstel voor hoe het in het model opgenomen kan worden.
- Eventueel: In welke versie van de Startanalyse (0.8 of 1.0).

2 HT-warmtenetten

2.1 Stand van zaken voor de validatie

Voor het HT-warmtenet zijn de kostencomponenten, zoals opgenomen in het Functioneel Ontwerp 3.0, gegeven in Tabel 1.

Tabel 1 - Kostencomponenten voor HT-warmtenetten

Component	Uitleg/subcomponenten	Kosten volgens FO3.0
Warmteoverdrachtsstation (WOS)	Het ontkoppelpunt (warmtewisselaar) tussen het primaire transportnet en secundaire distributienet, waarbij de volgende componenten worden meegenomen in de WOS: – hulpwarmteketel (HWK) voor de pieklevering; – gebouw; – warmtewisselaar.	Pagina 72: € 125.000 per MW
Onderstation (OS)	Verdeelstation voor circa 150 woningen, inclusief behuizing. Het onderstation bevat een warmtewisselaar (CE Delft, 1993) ¹ .	Pagina 68: € 100 per kW
Primair net	Primair transportnet is de leiding tussen warmtebron en WOS/HWK. Zie FO3.0, figuur 7. Het gaat om de kosten per meter warmtetracé (aanvoer- en retourleiding) in bestaand gebied inclusief herbestrating.	Pagina 70-71; Minimumcurve: Kosten (€/m) = $215,5 \cdot (P^{0,4828})$ Maximumcurve: Kosten = $379,29 \cdot (P^{0,4739})$ P in MW
Secundair net	Het secundaire net beschrijft de leidingen tussen WOS en onderstations (soms wordt dit secundair transportnet genoemd, soms secundair distributienet). Het secundair net bestaat uit hoofd- en	Pagina 70-71: Kosten: zie primair net.

¹ Zie: p.111.

Component	Uitleg/subcomponenten	Kosten volgens F03.0
	zijleiding. Elke zijleiding voedt het OS aan het eind ervan. Het gaat om een dubbele buis.	
Aansluitkosten	Kosten voor het aansluiten van het pand op het onderstation via distributienet in de straat. Er is uitgegaan van 15 meter per aansluiting.	Meergezinswoning: 2.700 €/woning (pagina 66) eengezinswoning: 5.000 €/woning (pagina 66) Utiliteitsbouw (pagina) 76: 125 €/kW
Inpandige distributie	– plaatsen warmtestation in bestaande ruimte; – aanleg verdeelleidingen door bergingen/kruipruimte; – aanleg stijgleidingen; – plaatsen afleverset; – aansluiten afleverset op bestaande binneninstallatie; – verwijderen combiketel.	Gestapelde bouw zonder blokverwarming (tabel 9 op pagina 66): – Fysieke aansluitmaatregelen: 5.308 – Verwijderen bestaande installatie: 500 Grondgebonden bouw (tabel 10 op pagina 67): – Fysieke aansluitmaatregelen: 0 – Verwijderen bestaande installatie: 500 Gestapelde bouw met blokverwarming (tabel 11 op p. 69): – Kosten voor het aansluiten van het pand op het distributienet: 2.700 – Fysieke aansluitmaatregelen: 1.823 – Verwijderen bestaande installatie: 500

2.2 WOS

Ontvangen informatie

De ontvangen informatie wordt gegeven in Tabel 2.

Tabel 2 - Ontvangen informatie voor warmte-overdrachtsstation in HT-warmtenetten

Bron	Input
Innoforte	Eerdere inschatting: 125 €/KW Nieuwe inschatting, iets hoger: 140 €/KW
Greenvis	WOS en HWK – Greenvis geeft 2 MW voor 500 woningen. WOS van 2 MW voor 500 woningen voor ongeveer 125 €/KW, hierbij wordt een onderscheid gemaakt naar: – Ketelkosten: • Deze zitten rond de 50 €/KW. – Gebouw/WOS: • Rest van kosten.

Conclusies voor de modellering

In het huidige Functioneel Ontwerp 3.0 zit investeringskosten van 125 €/kW.
Naar aanleiding van het commentaar en overleg met Greenvis en Innoforte is besloten om de range van investeringskosten aan te passen naar een range 125 €/kW tot 140 €/kW.

2.3 Onderstations

Ontvangen informatie

De ontvangen informatie wordt gegeven in Tabel 3.

Tabel 3 - Ontvangen informatie voor onderstation in HT-warmtenetten

Bron	Input
Anne van der Marel	Pas de kosten van onderstations aan van € 100 naar € 120-150 per kW.
Algemene reactie Validatiesessie 1	Niet afronden van het aantal stations, want er zijn ook stations met 700 kW vermogen.

Conclusies voor modellering

Dit commentaar is ingebracht en dit werd gesteund door andere experts; daarom is besloten om deze input over te nemen.

2.4 Woningaansluitingen en inbandige distributie

Ontvangen informatie

Een overzicht van de ontvangen informatie is te vinden in Tabel 4.

Tabel 4 - Ontvangen informatie voor woningaansluitingen en inbandige distributie bij HT-warmtenetten

Kostenpost en type woning	FO3.0	Validatieslag februari	Stadsverwarming Purmerend - via D. Awater	Sonja van Vooren (e-mail 3-5)	Innoforte/Greenvis	Teun Vercauteren (Eteck)
Kosten aansluiting pand, Grondgebonden woning	5.000 Leiding van OS naar pand	10.000 Leiding van OS naar pand	11.000 Kosten aansluiting pand	(Geen data)	Wordt onderzocht in additionele opdracht ²	Geen data
Inbandige distributie, grondgebonden woning	0 Geen inbandige aanpassingen verondersteld	(Geen data)	(Aanname dat bovenstaande inclusief is)	(Geen data)	€ 2.500 inbandige kosten € 1.300 afleverset	kosten afleverset volgens ACM (€ 1.680)
Aansluitkosten gestapelde woning, zonder blokverwarming	2.700 Leiding van OS naar pand	€ 250 Leiding van OS naar pand	Geen data, onbekend of onderstaande inclusief is	Galerijflats: 2.700 Portiekflats: 2700 tot	Wordt onderzocht in additionele opdracht	Geen data
Kosten inbandige distributie gestapelde woning, zonder blokverwarming	5.308 €/woning Plaatsen warmtestation in bestaande ruimte; Aanleg verdeelleidingen door bergingen/kruipruimte; Aanleg stijgleidingen; Plaatsen afleverset; Aansluiten afleverset op bestaande binneninstallatie; Verwijderen combiketel	(Geen data)	4.900 Plaatsing nieuw warmtestation, verwijdering oude ketels en aanleg leidingen	10.000. Omhoog brengen leidingen, aftakken naar woning, plaatsen afleverset	€1500 inbandige kosten € 1.300 afleverset	Geen data
Aansluitkosten gestapelde woning, met blokverwarming	2.700 Leiding van OS naar pand	€ 250 Leiding van OS naar pand	N.v.t.		Wordt onderzocht in additionele opdracht	Geen data
Kosten inbandige distributie gestapelde woning, met blokverwarming	1.823 €/woning Plaatsen warmtestation in bestaande ruimte; Aansluiten warmtestation op bestaande cv-installatie; Verwijderen collectieve ketel; Aansluiten/aanleggen warmtapwatersysteem.	(Geen data)	N.v.t./geen data. Plaatsing nieuw warmtestation en verwijdering oude ketel		Geen data	Geen data

² In de additionele opdracht aan Innoforte en Greenvis is gekeken naar de kosten per meter warmtenet en de hoogte van de aansluitkosten per gebouw. Verdere toelichting van deze bevindingen zijn te vinden in de conclusies van deze paragraaf.

Kostenpost en type woning	FO3.0	Validatieslag februari	Stadsverwarming Purmerend - via D. Awater	Sonja van Vooren (e-mail 3-5)	Innoforte/Greenvis	Teun Vercauteren (Eteck)
Verwijderen bestaande installatie	500	(Geen data)	(Geen data)	(Geen data)		Geen data

Conclusies voor de modellering

In samenwerking met Greenvis en Innoforte heeft PBL gewerkt aan een nieuwe modellering van de aansluitkosten. Hierbij wordt niet langer gewerkt met een vast bedrag per woning-type, maar heeft Greenvis een analyse gedaan op de afstand tussen gevel en dichtst-bijzijnde weg per buurt in Nederland. De kosten voor de warmteleiding die hier gelegd moet worden zijn gebaseerd op de kosten per meter leiding die verder wordt toegelicht in Paragraaf 2.5. De berekening voor de lengte van de netten wordt verder toegelicht in Bijlage 2.

Voor de in pandige kosten worden de kosten overgenomen zoals besproken met Innoforte en Greenvis (zie Tabel 4), belangrijk om hierbij te vermelden dat dit inclusief de afleverset is.

Blokverwarming

Bij blokverwarming wordt (conform FO3.0) rekening gehouden met:

- verwijdering oude ketel;
- plaatsen warmtestation in bestaande ruimte;
- bestaande blokverwarming aansluiten.

Ontvangen informatie

De ontvangen input over blokverwarming in combinatie met een HT-warmtenet is te vinden in Tabel 5.

Tabel 5 - Ontvangen input tijdens de validatiesessie over blokverwarming in combinatie met HT-warmtenetten

Bron	Opmerking
Hans van Wolferen	In de praktijk is er soms individuele, losse tapwatervoorziening aanwezig. Je zou rekening moeten houden met vervangen van de geisers.
Onbekend	Bestaande blokverwarming is vaak ontworpen op hogere temperatuur dan 70°C.

Conclusies voor modellering

Blijven uitgegaan van een situatie waar de oude ketel 1-op-1 vervangen kan worden door een warmtestation. Dit omdat er eerst meer openbare informatie verzameld dient te worden om dit goed in de modellering op te kunnen nemen. ACM komt eind dit jaar met meer informatie over collectieve afleversets, mogelijk dat we dit mee kunnen nemen in de maart-versie van de Startanalyse.

2.5 Kosten leidingen

Ontvangen informatie

De ontvangen informatie is te vinden in Tabel 6.

Tabel 6 - Ontvangen informatie over leidingkosten voor HT-warmtenetten

Bron	Vermogen (MW)	Diameter	Opmerking/type net	Kosten (€/meter tracé)
Vesta voorbeeldberekening - minimumcurve	5,23	n.b.	Primair transportnet	477
Vesta voorbeeldberekening - maximumcurve	5,23	n.b.	Primair transportnet	825
Vesta voorbeeldberekening - minimumcurve	17,43	n.b.	Secundair net	850
Vesta voorbeeldberekening - maximumcurve	17,43	n.b.	Secundair net	1.453
D Awater/Stw Purmerend	n.b.		Transportpijp	450
	n.b.		Secundair net	750
Sonja van Vooren	n.b.	DN50	Kleinste diameter aan het einde van een distributienet	850
	n.b.	n.b.	Grondtracés, gemiddelde voor een buurt	1.000
	n.b.	n.b.	Klinker bestrating (€ 200 dunder)	1.200
	n.b.	n.b.	Asfalt (€ 400 dunder)	1.400
Anne van der Marel	n.b.	Verdubbeling diameter		Verdubbeling
	n.b.		Weiland	40%
	n.b.		Bebouwd gebied	120% van deze kosten

Conclusies voor berekeningen

Omdat er veel onzekerheid is omtrent de investeringskosten in de verschillende componenten van een energiesysteem wordt binnen het Vesta MAIS-model gewerkt met een range van investeringskosten. Zo ook met de investeringskosten per meter warmteleiding.

Op basis van data van Greenvis is gekeken naar de investeringskosten per meter leiding in verschillende ondergronden. De basis voor de inschatting van de minimale investeringskosten per meter warmteleiding, in Vesta MAIS, is afgeleid van Greenvis-data omtrent aan te leggen warmteleidingen in een grasondergrond of een open verharding ondergrond. De maximale investeringskosten per meter warmteleiding worden afgeleid van Greenvis-data omtrent aan te leggen warmteleidingen in een ondergrond met asfalt.

De inschattingen worden weergegeven in Figuur 1 en beschreven met de volgende formules:

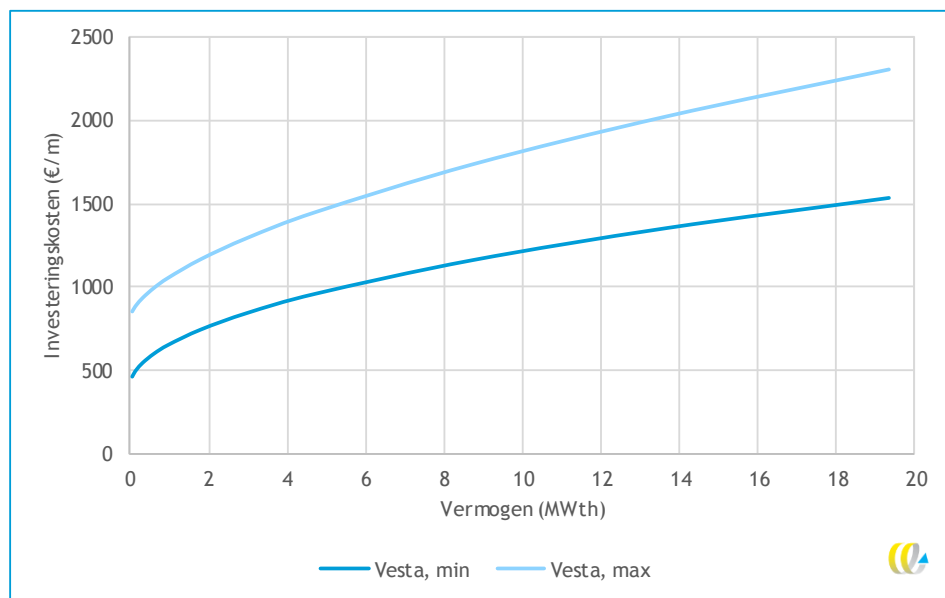
$$\begin{aligned} \text{Min Investeringskosten} &= 400 + 210 * \text{Vermogen}_{MWth}^{0.5} \\ \text{Max Investeringskosten} &= 800 + 200 * \text{Vermogen}_{MWth}^{0.6} \end{aligned}$$



Hierbij wordt deze nieuwe formule geijkt op het verband tussen de hoogte van de kosten in €/meter leiding en het gevraagde vermogen voor deze leiding (bij een delta T van 30).

De gevonden kostencurves lijken vergelijkbaar in hoogte met de overige ontvangen informatie in Tabel 6. De vergelijking is echter lastig te maken omdat hier geen vermogen bij bekend is.

Figuur 1 - Minimale en maximale kosten van HT-warmtenetten zoals die zullen worden gehanteerd in Vesta MAIS



2.6 Gelijktijdigheid

Ontvangen informatie

Een overzicht van de ontvangen informatie is te vinden in Tabel 7.

Tabel 7 - Overzicht van de ontvangen informatie over gelijktijdigheid bij HT-warmtenetten

Bron	Input
Nederlandse Verwarmingsindustrie	De gelijktijdigheid is voor verwarming en warm tapwater verschillend. Voor verwarming kan de gelijktijdigheid oplopen tot 50-80%. Voor tapwater ligt deze voor woningen tussen 10 en 20%.
Peter de Keijzer, (2018) (Warmteboek, figuur 5.3.2)	
Input van Innoforte en ISSO publicatie 7	Zie Bijlage A; Gelijktijdigheid.

Analyse van de berekeningsmethodes

In Bijlage A zijn drie methodes uitgewerkt. De methode van Innoforte heeft de voorkeur omdat de resultaten tussen de andere methodes in zitten en de formule voor deze methode bekend is. De methode van ISSO lijkt wat te vereenvoudigd.

Conclusies voor berekeningen

Een benadering die vanaf 100 woningen heel goed bruikbaar is, is een gelijktijdigheid van 50% voor de vraag naar ruimteverwarming en 10% voor de warmtapwatervraag. In het model moet nog wel apart het vermogen voor de warmtapwatervraag opgenomen worden.

2.7 Leidingverlies

De huidige factor is 20% verlies op de totale warmtevraag (volume).

Overzicht van de ontvangen informatie

In Tabel 8 staat een overzicht van de reacties hierop.

Tabel 8 - Overzicht input over leidingverliezen bij HT-warmtenetten

Bron	Reactie																																																								
Algemene reactie Validatiesessie 1	Laat het aandeel leidingverlies afhankelijk zijn van de lengte van leidingen en de diameter. Een totaal van 20% lijkt overigens een acceptabele inschatting.																																																								
Sabine Jansen (TU Delft)	Notitie over vereenvoudigde berekening op basis van vermogen, dT -> leidingdiameter (zie Bijlage C). Warmteverliescoëfficiënten: Table 4-1: pipe diameters and corresponding heat transfer coefficients (ISSO, 2012) <table><tr><th>DN</th><th>d_i [m]</th><th>d_o [m]</th><th>U*C [Wm⁻¹K⁻¹]</th></tr><tr><td>20</td><td>0.0217</td><td>0.090</td><td>0.136</td></tr><tr><td>25</td><td>0.0285</td><td>0.090</td><td>0.165</td></tr><tr><td>32</td><td>0.0372</td><td>0.110</td><td>0.160</td></tr><tr><td>40</td><td>0.0431</td><td>0.110</td><td>0.194</td></tr><tr><td>50</td><td>0.0545</td><td>0.125</td><td>0.215</td></tr><tr><td>65</td><td>0.0703</td><td>0.140</td><td>0.253</td></tr><tr><td>80</td><td>0.0825</td><td>0.160</td><td>0.261</td></tr><tr><td>100</td><td>0.1071</td><td>0.200</td><td>0.276</td></tr><tr><td>125</td><td>0.1325</td><td>0.200</td><td>0.318</td></tr><tr><td>150</td><td>0.1603</td><td>0.250</td><td>0.375</td></tr><tr><td>200</td><td>0.2101</td><td>0.315</td><td>0.401</td></tr><tr><td>250</td><td>0.2630</td><td>0.400</td><td>0.357</td></tr><tr><td>300</td><td>0.3127</td><td>0.450</td><td>0.456</td></tr></table>	DN	d _i [m]	d _o [m]	U*C [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	20	0.0217	0.090	0.136	25	0.0285	0.090	0.165	32	0.0372	0.110	0.160	40	0.0431	0.110	0.194	50	0.0545	0.125	0.215	65	0.0703	0.140	0.253	80	0.0825	0.160	0.261	100	0.1071	0.200	0.276	125	0.1325	0.200	0.318	150	0.1603	0.250	0.375	200	0.2101	0.315	0.401	250	0.2630	0.400	0.357	300	0.3127	0.450	0.456
DN	d _i [m]	d _o [m]	U*C [Wm ⁻¹ K ⁻¹]																																																						
20	0.0217	0.090	0.136																																																						
25	0.0285	0.090	0.165																																																						
32	0.0372	0.110	0.160																																																						
40	0.0431	0.110	0.194																																																						
50	0.0545	0.125	0.215																																																						
65	0.0703	0.140	0.253																																																						
80	0.0825	0.160	0.261																																																						
100	0.1071	0.200	0.276																																																						
125	0.1325	0.200	0.318																																																						
150	0.1603	0.250	0.375																																																						
200	0.2101	0.315	0.401																																																						
250	0.2630	0.400	0.357																																																						
300	0.3127	0.450	0.456																																																						
	Resultaat voorbeeldberekening: - Verlies primair net: Dit kan op dezelfde manier, maar hoeveel van het verlies wordt aan welke wijk toegerekend? Kan naar rato van vraag. - Verlies secundair net (8.000 m, 12 MW) = 134 kWh/m per jaar. - Verlies gebouwaansluiting: per woning 4 GJ/woning/jaar.																																																								
Lex Bosselaar	ISSO 7 en de NEN7125 geven formules voor het verlies. Eventueel de verliesfactor schalen aan praktijkgegevens. Oude netten hebben meer verlies door lekkage. Je mag ervan uitgaan dat dit niet speelt bij nieuwe netten. Opmerking: formule 7.9 in de NEN komt overeen met de methode beschreven door Sabine Jansen.																																																								

Analyse ontvangen informatie

In Tabel 9 is een voorbeeldberekening te zien uit de notitie van Sabine Jansen (Tabel 9). Het verlies per woning komt in dit voorbeeld volgens de methodiek van Sabine Jansen uit op 28% van de totale vraag in plaats van 20%. Vooral het verlies van de woningaansluiting (15 meter) draagt hieraan bij.

Tabel 9 - Vergelijking resultaten methodiek Sabine Jansen met resultaten Vesta MAIS

Component	Vesta rekensheet	Vesta inputwaarden, volgens berekening Sabine Jansen	Voorbeeld uit memo Sabine Jansen
Aantal woningen in voorbeeld-berekening	3.249	Idem	1.000
Som warmtevraag woningen (GJ/jaar)	77.778	Idem	Niet gegeven
Lengte secundair net	4.034 m	Idem	8.000 m
Vermogen woningaansluiting (MW)	0,00715 (gemiddeld)	Idem	0,012
Lengte woningaansluiting	15 m/woning	Idem	10 m/woning
Verlies woningaansluiting	N.v.t.	6,7 GJ/woning/jr 21.809 GJ/jr	4 GJ/woning/jaar 4.000 GJ/jr
Verlies secundair net	N.v.t.	4.387 GJ/jr	7.746 GJ/jr
Verlies primair net	N.v.t.	2.161 GJ/jr	-
Verlies totaal	15.555 GJ/jaar	28.357 GJ/jr	11.746 GJ/jr
Verlies per woning	4,8 GJ/jaar	8,7 GJ/jaar	12 GJ/jaar
Percentage verlies op vraag-volume	20%	28%	

Conclusies voor modellering

Voor de korte termijn (september-versie) is het mogelijk om het percentage leidingverlies aan te passen met 28% zodat dit meer overeenkomt met de inschatting van Sabine Jansen.

Voor de versie voor de Leidraad 1.0 (maart 2020) is het mogelijk om deze berekening aan te passen. Dan kan er worden aangesloten op de berekening van Sabine Jansen.

1. Berekening diameter van het secundair warmtenet op basis van vermogen P :

$$d_i [mm] = \sqrt{\frac{P_{warmtenet} [MW]}{1008 \cdot \pi}}$$

2. Opzoeken warmteverliescoëfficiënt U in gegeven tabel.
3. Berekening verlies van elk deel van het warmtenet op basis van U en lengte tracé:

$$Q_{verlies} \left[\frac{GJ}{jr} \right] = U \left[\frac{W}{m \cdot K} \right] \cdot L [m] \cdot 0,1892 \left[\frac{K \cdot GJ}{W \cdot jr} \right]$$

Zie voor aannames en kentallen de notitie in Bijlage C.

2.8 Pompenergie

Toelichting model

De huidige modellering rekent éénmaal de pompenergie uit op basis van de totaal geleverde GJ warmte. In werkelijkheid heeft elk deel van het net een eigen pomp (transportnet, primair net WOS-OS, secundair net OS-woning).

Ontvangen informatie

De ontvangen informatie is te vinden in Tabel 10.

Tabel 10 - Ontvangen informatie over pompenergie bij HT-warmtenetten

Bron	Input
Toon Buiting (Radboud Universiteit)	2,5 kWh/GJ_th (gelijk aan 0,0090 MJe/MJth) lijkt te laag voor pompenergie.
Lex Bosselaar (RVO)	NEN7125 (EMG) tabel 13 in paragraaf 7.7 hulpenergiegebruik geeft: — 0,0018 MJe/MJth secundair net/distributienet; — 0,0054 MJe/MJth voor primair net; — totaal 0,0072 MJe/MJth (gelijk aan 2,0 kWh/GJth).
Anne van der Marel	Hierbij rekenmodel om een indicatie te krijgen van de benodigde pompenergie ter overbrugging van alleen wrijvingsdrukverlies in een transportsysteem (aanvoer en retour). Je kunt een aantal varianten invoeren (kolommen E t/m K), input in de gele vlakken. Het houdt geen rekening met verschillende wandruwheden, heb het model laten valideren door onze engineeringafdeling. De afwijkingen bleken maximaal 5% te zijn. In ISSO 7 staat ook een grafiek. Die kun je hiermee vergelijken. De NEN7125 heeft ook een formule. Die heb ik je al eerder gestuurd. <i>(Aantekening: De gegeven voorbeelden zijn voor een transportnet. De pompenergie varieert tussen 0,35 en 25,55 kWh/GJ).</i>

Conclusies voor modellering

Conform de NEN7125 pompenergie van 0,0072 MJe/MJth (gelijk aan 2,0 kWh/GJth) hanteren. Dit wordt hiermee toegevoegd aan het Functioneel Ontwerp.

2.9 Bronkosten

Ontvangen informatie

Er is informatie ontvangen over geothermie. De ontvangen gegevens zijn te vinden in Tabel 11.

Tabel 11 - Ontvangen gegevens voor geothermiebronkosten bij HT-warmtenetten

Bron	Input
PBL SDE+ tariefadvies 2020	Geothermie voor de GO (minder vollasturen).
EBN	Zorgen omtrent de bronkosten die worden meegenomen binnen de start-analyse.

Conclusies voor modellering

Het SDE+-2018 eindadvies voor 2019, onderdeel GO, wordt aangehouden voor de investeringskosten per MWth. Daarbij wordt op dit moment samen met EBN gekeken contouren die we meenemen voor de vaststelling voor de mogelijkheden voor geothermie. Daarnaast wordt door PBL samen met EBN gewerkt aan een stuk tekst die wordt opgenomen in de toelichtende tekst die gemeenten krijgen waarin de randvoorwaarden voor deze uitkomsten met betrekking tot geothermie worden toegelicht.

Als laatste wordt gezamenlijk toegewerkt naar een meer gedetailleerde modellering van deze kosten in de versie van maart volgend jaar.

3 LT-warmtenetten

3.1 Algemeen ontwerp

Ontvangen informatie

De ontvangen informatie is te vinden in Tabel 12.

Tabel 12 - Ontvangen informatie over het algemeen ontwerp van LT-warmtenetten

Bron	Input
Marcel Elswijk, Energygo	De ontwerprichting van HT kan niet door getrokken worden naar LT-netten. Het zijn twee verschillende benaderingswijzen. Bij LT heb je veel meer te maken met het efficiënt leveren van een piekvraag door slimme balancing met buffers. Dat is per regio/wijk anders. Het andere is dat voor warmtenetten maatschappelijk kosten niet van toepassing zijn. Dat zijn businesscases aangezien het om bedrijven gaat. We hebben nog geen concrete deliverables uit het project kowanet en op andere vlakken zijn we nog aan het rekenen. Ik verwacht dat we na de zomer kentallen gereed hebben.
Nynke Verhaegh, DNV-GL (Project Winst)	DNV-GL is op het moment (13-6) nog de rapportage van het project Winst aan het afronden. Dit is inclusief kostenkentallen. Deze worden gevalideerd door de partners, voordat die publiek gemaakt worden. Die kentallen zijn specifiek voor bepaalde wijken gegeven, dus tot op zekere hoogte confidentieel en zeker niet generiek. Wat betreft netwerkkosten moet nog worden afgestemd met Thermaflex voordat getallen gedeeld kunnen worden. Uiteindelijk komt de informatie beschikbaar in de eindrapportage.

Conclusies voor modellering

Op basis van het commentaar is in de strategie de variant van het LT-net wat aangepast. Zie hiervoor de notitie over de strategieën van PBL.

3.2 Modellering en kosten warmtenet

Kosten leidingnet

Ontvangen informatie

Er zijn opmerkingen gemaakt over de kosten van een LT-warmtenet. Een LT-warmtenet zou wat goedkoper kunnen zijn, maar aangezien de leidingen wat dikker moeten zijn en de graafkosten gelijk zijn wordt aangenomen dat de kosten gelijk zijn aan die voor een HT-warmtenet.

Tabel 13 - Ontvangen informatie over de kosten LT-warmtenetten

Bron	Input
Charles Geelen (DHPA)	Voor (bron)leidingnetten van 30°C of lager uitgevoerd in kunststof zijn de kosten anders: Recente projectervaring: voor een klein warmtenet van 20/10°C en 1.300 kW waren de kosten ca. € 700.000 (bij een totale lengte van ca. 1.100 m = 630 €/m tracé).

Conclusies voor modellering

Er wordt uitgegaan van kosten gelijk aan die voor een HT-warmtenet. De ontvangen kosten-indicatie van DHPA ligt aan de onderkant van de kostenrange die we aanhouden voor LT- en HT-netten.

Woningaansluitingen

Ontvangen informatie

De ontvangen informatie is te vinden in Tabel 14.

Tabel 14 - Ontvangen informatie over woningaansluitingen op LT-warmtenetten

Bron	Input
Daniel Awater	Zie HT-net.
Teun Vercauteren (ETECK)	De kosten voor de afleverset kunnen sterk variëren. Dit hangt er van af of er een intelligente regeling in zit, pomp voor de vloerverwarming, thermostaat, wel of geen wisselaar, wel of geen tapwater, wel of geen koeling. We maken 2-, 3-, 4-, 5- of 6-pijps distributienetten die allemaal een andere afleverset nodig hebben. Een standaard 70-40 afleverset bestaat wel, hier zit dan een wisselaar in voor de bereiding van het tapwater, koude is niet mogelijk. In de ACM-berekening voor de warmtewet wordt er gerefereerd aan de kosten van een standaard afleverset. Bij een net op 30-20 moet je dus ook nog een apart net aanleggen voor tapwater of werken met elektrische boilers of booster-WP. In dit laatste geval is er geen afleverset nodig want het tapwater wordt met de booster-WP gemaakt. De cv zou zonder wisselaar rechtstreeks op de vloerverwarming gekoppeld kunnen worden. Het kan wel met een wisselaar, dan is dat een goedkopere variant want er zit geen wisselaar meer in voor tapwater. Hoeveel goedkoper ligt er aan, je kan de vloerverwarming rechtstreeks aansluiten zonder wisselaar maar dan heb je nog wel een energiemeter nodig en wat regeltechniek. Veel partijen kiezen toch voor een wisselaar om een hydraulische scheiding te hebben, in hoogbouw moet dit zelfs doordat de druk op de vloerverwarming anders te hoog wordt. Voor het tapwater wordt dan de boosterwarmtepomp gebruikt.

Conclusies voor modellering

Bij het 70°C-distributienet zijn de kosten van de afleverset gelijk aan die in de HT/MT-modellering.

Bij het 30°C-distributienet zijn er weinig gegevens over de kosten voor aansluiting en afleverset. De werkzaamheden zijn vergelijkbaar, daarom wordt nu aangenomen dat de kosten gelijk zijn. De afleverset is een afleverset zonder warmtapwatervoorziening, omdat er een andere warmtapwatervoorziening nodig is in verband met de benodigde temperatuur van warmtapwater.

3.3 Onderstations

Ontvangen informatie

De ontvangen informatie is te vinden in Tabel 15.

Tabel 15 - Ontvangen informatie over onderstations in LT-warmtenetten

Bron	Input
Anne van der Marel	Pas de kosten van onderstations aan van € 100 naar € 120-150 per KW.
Algemene reactie Validatiesessie 1	Niet afronden van het aantal stations, want er zijn ook stations met 700 kW vermogen.

Conclusies voor modellering

Input overnemen.

3.4 Collectieve warmtepomp (Variant 1)

Ontvangen informatie

De ontvangen informatie is te vinden in Tabel 16.

Tabel 16 - Ontvangen informatie over een LT-warmtenet met collectieve warmtepomp (Variant 1)

Bron	Input
Anne van der Marel (Uniper)	Er is voorgesteld om de mogelijkheid mee te nemen voor twee warmtepompen in serie voor de collectieve WP in Variant 1. Dit verhoogt de investeringskosten, maar verhoogt ook de SPF.

Conclusies voor modellering

Omdat dit een detailoptimalisatie is, wordt dit in de Vesta-modellering niet meegenomen.

SPF

Ontvangen informatie

De ontvangen informatie is te vinden in Tabel 17.

Tabel 17 - Ontvangen informatie over de SPF van een collectieve warmtepomp in een LT-net (Variant 1)

Bron	Input
Algemene input Sessie 1	SPF van de collectieve warmtepomp aanpassen naar 50% van Carnot rendement. Hiermee komt de SPF uit op 3,2 in plaats van 3,8.
Voorlopige kentallen voor aquathermie (april 2019)	De gemiddelde SPF van MT-systemen zonder bijstook is 3,0. Bij aquathermie is de aanvoertemperatuur circa 20°C, terwijl de modellering van deze variant gebaseerd is op bronnen van 30°C.
Charles Geelen (DHPA)	Zie specificaties Trane WP van 300 kW met schroefcompressor. Deze heeft een Carnot-rendement van ruim 54%: COP = 3,14 bij W18/W69 (voor Carnot rekenen met 10°C verdamper uittrede, cf. de specs bij Trane). Voor een brontemperatuur van 20°C (en 10°C retour) is de aanname/conclusie van een COP = 3,2 dus correct. Indien in het Vesta Mais-model met bronconditie



Bron	Input
	30°C verdamper-in en 20°C verdamper-uit wordt gerekend (W30/W70), is de bijbehorende COP dus: $54\% * (273+70)/(70-20) = 3,70$. Bij grotere vermogens zal het Carnot-rendement beter zijn; een COP van 3,7 is dan zelfs aan de lage kant. Wanneer continu 70°C aan het warmtenet geleverd moet worden is de SPF gelijk aan de COP.

Conclusies voor modellering

SPF aanpassen naar 3,2. De aangeleverde informatie door de DHPA is reden om nader onderzoek te doen van de efficiëntiefactor ten opzichte van het theoretische Carnot-rendement van warmtepompen. Dit zal worden gedaan voor de Startanalyse 1.0 in maart.

3.5 Variant 2

Ontvangen informatie

De ontvangen informatie is te vinden in Tabel 18.

Tabel 18 - Ontvangen informatie voor LT-netten met individuele warmtepompen én een collectieve (Variant 2)

Bron	Input
Algemene input sessie 1	Variant 2 niet rendabel, door de collectieve warmtepomp voor piekvermogen. Er kan beter gewerkt worden met een ketel op een duurzame bron. — Suggestie: overweeg een LT-variant toe te voegen met een bron op 15 graden zonder collectieve WP.
Charles Geelen (DHPA)	Bij een individuele (of lokale) tapwatervoorziening, kan de centrale aanvoer weersafhankelijk worden geregeld en is de SPF substantieel hoger (bijv. bij 45°C aanvoer (en 20/10°C bron) hebben deze machines een COP van 5,4); de SPF is uiteraard een gewogen gemiddelde van de COP bij de aanvoertemperaturen en de bijbehorende frequenties van buitentemperaturen.
Charles Geelen (DHPA)	Allereerst t.b.v. nieuwbouw/goed nageïsoleerde bestaande bouw: 40-45°C centrale aanvoer met individuele booster-WP's voor tapwater is een uitstekende optie voor toepassing van LT-warmtenet gevoed met echte afvalwarmte/cascade geothermie/centrale WP. Voor de bestaande bouw die minder goed kan worden nageïsoleerd is de uitdaging bij een centrale/collectieve optie uiteraard wel aanwezig. Dan is 70% piekvermogen wellicht aan de hoge kant en zou 40% basis en 60% piek (of zelfs 50/50) te overwegen zijn (is in feite fine-tuning bij het ontwerp). En hierbij zijn uiteraard ook diverse combinaties van collectief en individueel mogelijk.

Conclusies voor modellering

In de strategieën is gekozen voor gasloze opties. Dit betekent dat in Variant 2 ook een warmtepomp voor de winterpiek wordt geplaatst. Op advies van Greenvis is deze gedimensioneerd op 70% van de capaciteit.

De SPF van de booster-warmtepomp wordt verhoogd tot 3,4, gebaseerd op een warmwatertemperatuur van 70°C, een aanvoertemperatuur van 20°C en een efficiëntiefactor van 50%. Voor de startanalyse 1.0 zal aanvullend onderzoek worden verricht naar de SPF van booster-warmtepompen.

3.6 Gelijktijdigheid

Ontvangen informatie

De ontvangen informatie is te vinden in Tabel 19.

Tabel 19 - Ontvangen informatie over gelijktijdigheid in LT-warmtenetten

Bron	Input
Warmteboek Eneco (Peter de Keizer)	Gelijktijdigheidscurve.
Teun Vercauteren (Eteck)	We leggen bijna altijd 40-30 netten aan met daarnaast een tapwater net of een individuele warmtepomp boiler voor het tapwater. Gelijktijdigheid is niet hoog voor ruimteverwarming. In de piek staan alle cv's op vol vermogen. Bij tapwater bereiding is er wel sprake van gelijktijdigheid maar dit is niet van toepassing voor 40-30 netten
Input van Innoforte en ISSO publicatie 7	Zie Bijlage A; Gelijktijdigheid.

Conclusies voor modellering

Een benadering die vanaf 100 woningen heel goed bruikbaar is, is een gelijktijdigheid van 50% voor de vraag naar ruimteverwarming en 10% voor de warmtapwatervraag. In het model moet nog wel apart het vermogen voor de warmtapwatervraag opgenomen worden.

3.7 Bronkosten

Ontvangen informatie

De ontvangen informatie is te vinden in Tabel 20.

Tabel 20 - Ontvangen informatie over bronkosten van LT-warmtenetten

Bron	Input
SDE+	Notitie 'Aanvullende berekening' is interessant voor de LT-netten, omdat hier wordt ingegaan op de kosten voor OGT en TEO. Hierbij wordt in de tekst aangegeven dat er meerdere configuraties (individueel vs. collectief) mogelijk zijn, maar in de kostenkentallen wordt uitgegaan van een collectief systeem. Verder zijn dit de kosten exclusief de netten, maar de warmtepompen zitten er wel in.
Spreadsheet Lex Bosselaar (RVO) voor KWA, gebruikt voor Warmtewet	Kosten WKO.

Conclusies voor modellering

De rapportage van CE Delft wordt gehanteerd.

Aquathermie

Aquathermie is niet in de gevalideerde strategieën opgenomen. Aquathermie heeft een lagere temperatuur dan de LT-netten (ZLT).

Voor aquathermie wordt wel een modellering opgesteld door PBL op basis van input van IF Technology.

Zonthermie

Zonthermie wordt niet in de Leidraad meegenomen in versie 0.8 (september). Mocht het later meegenomen worden, dan zijn kosten te halen uit:

- Michiel Fremouw (TU Delft);
- Luuk Beurskens;
- Tarieven uit tariefadvies SDE+.

4 Conversietechnieken

4.1 Stand van zaken voor de validatie

De modellering is gebaseerd op:

- lopende project 'Generalisatie Opwekkingstechnieken in Vesta';
- voorbeeldberekening in Excelsheet;
- de notitie 'Toelichting bij validatiesheet conversietechnieken'.

De stand van zaken voor de validatiesessie is met de deelnemers gedeeld middels de notitie 'Toelichting bij validatiesheet conversietechnieken' (CE Delft, 2019).

4.2 Verwerking validatiesessie

Per conversietechniek wordt het ontvangen commentaar besproken en hoe dit wordt verwerkt in Vesta MAIS. Daarnaast wordt genoemd in welke versie van de startanalyse dit wordt opgenomen.

Luchtwarmtepomp

Investeringskosten

De investeringskosten van de luchtwarmtepomp bestaan uit de aanschaf van het apparaat en benodigde onderdelen en installatie daarvan. Alle prijzen zijn exclusief btw.

Woningen

Ontvangen informatie

De ontvangen informatie staat in Tabel 21. Daarnaast werd Lifecycle, het Maandlasten-model AEDES, Kostenoptimaliteitsstudie en Variatietool Woningen geadviseerd, maar niet toegezonden.

Tabel 21 - Ontvangen informatie investeringskosten luchtwarmtepomp woningen

Bron	Input
Tomas Piessens (Techniek Nederland) via Marco Witsche	Modelberekeningen voor (klein) seriematig verduurzamen van het corporatiebezit.
Gijs van Wijk (Urgenda)	Prijzen voor 7,5 kW warmtepompen.
Rimme van der Ree (Klimaatexpert)	Netto prijslijst warmtepompen.
Wim Mans (Innoforte)	Eigen cijfers voor individuele woningen, dus geen projectmatige aanpak. De prijzen zijn niet gebaseerd op gerealiseerde projecten, maar op een analyse van prijslijsten van leveranciers gecombineerd met opslagen op basis van kengetallen voor de materialen en andere bijkomende kosten.
DHPA	Lucht-, bodem en ventilatiewarmtepompen, uitgangspunt is projectuitvoering van 50-100 woningen in een wijk.

Analyse van aangeleverde data

Er is een analyse uitgevoerd door RVO op kosten uit de bronnen gegeven in Tabel 22. De analyse is te vinden in Bijlage D.

Tabel 22 - Bronnen meegenomen in kostenanalyse luchtwarmtepomp voor woningen

Bron	Inhoud
Arcadis	Kostenkentallen Wbouw.
Innoforte	Eigen cijfers voor individuele woningen, dus geen projectmatige aanpak. De prijzen zijn niet gebaseerd op gerealiseerde projecten, maar op een analyse van prijslijsten van leveranciers gecombineerd met opslagen op basis van kengetallen voor de materialen en andere bijkomende kosten.
Milieu Centraal	Algemene cijfers van de website.
Klimaatexpert	Netto prijslijst warmtepompen.
Annex 45	Kostenindicaties voor verschillende type warmtepompen.
ISDE	Subsidieaanvragen voor warmtepompen.
DHPA	Lucht-, bodem en ventilatiewarmtepompen, uitgangspunt is projectuitvoering van 50-100 woningen in een wijk.
Urgenda	Prijzen voor 7,5 kW warmtepompen.

Conclusies voor de modellering

De resultaten van de analyse van RVO worden overgenomen. Voor woningen worden de investeringskosten van warmtepompen gebaseerd op een vast bedrag plus een opslag per kW:

$$€ [4.637 + 500 \times \text{vermogen (kW)}].$$

De spreiding van 24% voor op zichzelf staande renovaties wordt ook overgenomen. Voor projectmatige aanpak wordt de formule:

$$€ [5.359 + 320 \times \text{vermogen (kW)}]$$

gebruikt. Hiervoor waren slechts twee bronnen beschikbaar. Dit geeft geen goed beeld van de spreiding. Daarom wordt de spreiding van 24% gezien bij de op zichzelf staande installatie ook aangehouden voor projectmatig.

Voor de gevoeligheidsanalyse in de Startanalyse 0.8 van PBL zullen minimum- en maximum-prijzen worden bepaald op basis van de standaarddeviatie. Deze zal nog worden bepaald.

Utiliteitsbouw

Ontvangen informatie

De ontvangen informatie staat in Tabel 23. Daarnaast werd Lifecycle en de kostenoptimaliteitsstudie van DGMR geadviseerd, maar de informatie werd niet toegezonden.

Tabel 23 - Ontvangen informatie investeringskosten luchtwarmtepompen voor utiliteitsbouw

Bron	Input
Lambert ten Dekker (DWA)	Prijzen voor systemen met verschillende vermogens van NIBE.
Technologiematrix van KWA	Bodemenergie (BES + waterwaterwarmtepomp), lucht-water WP, biopelletketel (zonnecollectoren, pelletkachel): — investeringskosten; — SPF.
Christiaan Nijboer (Rijksvastgoedbedrijf)	Opgave van kosten voor enkele warmte- en koudeopwekinstallaties bij verschillende configuraties en vermogens (bij RVB).

Analyse van aangeleverde data

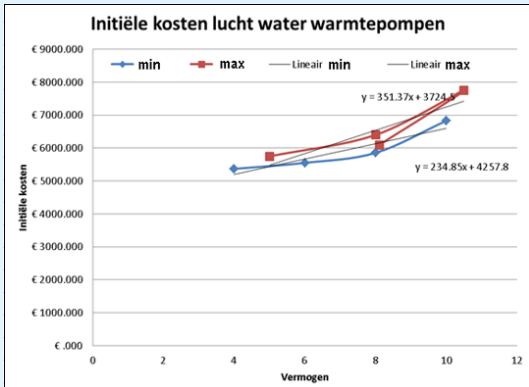
Er is een analyse uitgevoerd op kosten uit de bronnen gegeven in Tabel 24. Er wordt uitgegaan van een monovalent systeem. De regressie is te vinden in Figuur 2. De kosten van Arcadis zijn niet meegenomen, omdat deze een waarde per vloeroppervlak betreffen en onafhankelijk zijn van het vermogen. De kostenkanten van NIBE van Lambert ten Dekker zijn niet meegenomen omdat de vermogens een orde grootte kleiner zijn dan de overige ontvangen gegevens.

De prijs van een lucht/waterwarmtepompcombi voor utiliteit kan benaderd worden met de volgende formule:

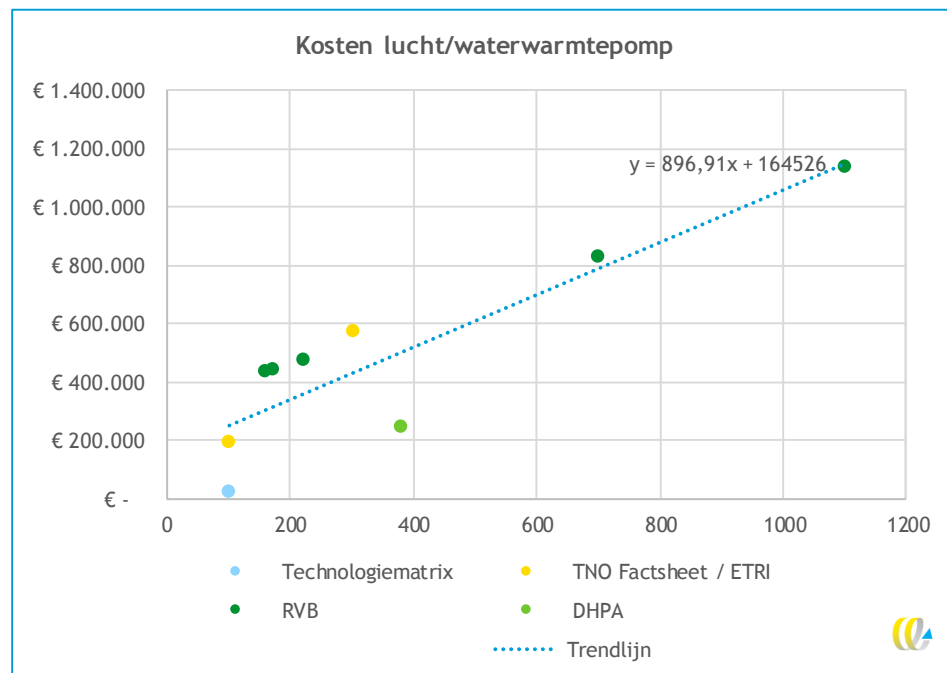
$$€ [164.526 + 897 \times \text{vermogen (kW)}].$$

De maximale spreiding rond deze trendlijn is 89%, de standaarddeviatie is € 62.076.

Tabel 24 - Bronnen meegenomen in kostenanalyse luchtwarmtepomp voor utiliteit

Bron	Input
TNO Factsheet/ETRI	Vast bedrag van 1.925 €/kW vermogen.
Technologiematrix	Bodemenergie (BES + waterwaterwarmtepomp), lucht-water WP, biopelletketel (zonnecollectoren, pelletkachel): — investeringskosten; — SPF.
	
Christiaan Nijboer (Rijksvastgoedbedrijf)	Opgave van kosten voor enkele warmte- en koudeopwekinstallaties bij verschillende configuraties en vermogens (bij RVB).

Figuur 2 - Kostenregressie op geleverde prijsinformatie voor water/luchtwarmtepompen



Conclusies voor de modellering

De resultaten van de analyse hierboven worden overgenomen. Voor utiliteit worden de investeringskosten van warmtepompen gebaseerd op een vast bedrag plus een opslag per kW. Ook de spreiding wordt overgenomen.

Voor de gevoeligheidsanalyse in de Startanalyse 0.8 van PBL zullen minimum- en maximumprijzen worden bepaald op basis van de standaarddeviatie.

SPF

Ontvangen informatie

De ontvangen informatie is terug te vinden in Tabel 25. De rapporten Stroomversnelling/ Energiesprong zijn helaas niet bruikbaar, omdat deze geen waarden geven voor de SPF of COP.

Tabel 25 - Ontvangen informatie SPF luchtwarmtepomp

Bron	Input
Charles Geelen (DHPA)	Een selectie van jaarrendementen uit gelijkwaardigheidsverklaringen. De gemiddelde SPF van luchtwarmtepompen bij afgifte van 30-35 graden is 5,2. De gemiddelde SPF van luchtwarmtepompen bij afgifte van 50-55 graden is 4,1. Dit zijn geen praktijkgegevens, maar zijn wel gevalideerd (zie Tekstbox 1).
Gijs van Wijk (Urgenda)	Er zijn 7,5 kW warmtepompen geplaatst in bestaande woningen met spouwmuur en vloerisolatie, met SPF RV 3,6 en SPF TW 2,0. Notitie: Hier zit geen LT-radiator in, dus hier gaan we uit van 70°C.
Stroomversnelling/ Energiesprong	Rapporten waarin meetdata is gebruikt voor het in beeld brengen van energieprestaties. Dit is niet terug te voeren tot SPF/COP helaas.
Albert Koedam (Aedes)	Bij blokverwarming een collectieve luchtwarmtepomp gebruiken om naar 70°C op te waarden (SPF 3,6). Daarmee kunnen de bestaande leidingen en afgiftesystemen gebruikt worden.

Tekstbox 1 - Toelichting bij toegezonden informatie over SPF door DHPA

Overzicht jaarrendementen warmtepompen

Dit is de SPF waarmee in de bouwregelgeving gerekend mag worden. Ze zijn gebaseerd op testen en alleen van toepassing bij een bepaald afgiftesysteem.

Dit is denk ik een goede basis voor bepaling van SPF. Er is wel onzekerheid of ze in werkelijkheid ook altijd deze SPF halen, maar het is denk ik de betrouwbaarste bron die we hebben.

Ik zou uitgaan van een 55°C afgifte. Bestaande bouw ombouwen naar 35°C is lastig en duur.

De resultaten voor Lucht-warmtepompen zijn gebaseerd op de rekenmethodiek van Bijlage E in de NEN 7120 plus Aanvullingsbladen A1 (juni 2017 - inmiddels aangewezen in het Bouwbesluit door de min. van BZK).

De cijfers zijn overgenomen uit de gecontroleerde Kwaliteitsverklaringen van het Bureau CRG (geleid door Kees Arkesteijn).

Aan een Kwaliteitsverklaring cf. NEN 7120 Bijlage E en Q ligt het volgende proces ten grondslag:

- De warmtepomp wordt getest bij een (cf EN-71025) gecertificeerd instituut.
- De testen worden uitgevoerd cf. de voorschriften van de testnormen EN 14511 en/of EN 14825.
- De meetpunten worden ingevoerd in de Rekentool Bijlage E (hierin is de methodiek cf. Bijlage E van de NEN 7120 opgenomen).
- Het tot stand komen van de reproduceerbare meetresultaten en de berekening van de jaarprestatie (SCOP) met de rekenmethodiek van Bijlage E wordt door het Bureau CRG gecontroleerd.
- Tot slot wordt de Kwaliteitsverklaring vrijgegeven voor gebruik in de EPG-software ter bepaling van de EPC.

Voor Bodem-warmtepompen geldt een analoge methodiek - deze is beschreven in Bijlage Q vd NEN 7120.

De methodiek van bijlage Q is overgenomen in de NTA8800.

De resultaten in het bijgaande overzicht kunnen nog verder uitgebreid worden - als dat nodig is horen we het graag.

Ook zullen we in de loop van volgende week de onderliggende kwaliteitsverklaringen doorsturen (zijn uiteraard openbaar en voor iedereen te downloaden van de BCRG-site).

Analyse van de ontvangen informatie

De ontvangen waarden staan weergegeven in Tabel 26, aangevuld met een studie van Business Development Holland. Voor elk van de waarden is de efficiëntiefactor bepaald ten opzichte van het theoretische Carnot-rendement. Dit is gedaan op basis van een gemiddelde buitenluchttemperatuur van 7,5°C (NEN7120). De gemiddelde efficiëntiefactor is 53%.

Tabel 26 - SPF van de lucht/waterwarmtepomp volgens verschillende bronnen en de resulterende efficiëntiefactor

Bron	SPF	Temperatuur (°C)	Efficiëntiefactor
DHPA	520%	32,5	43%
DHPA	410%	52,5	57%
Business Development Holland	450%	35	40%
Business Development Holland	400%	45	47%
Urgenda	360%	70	66%
AEDES	360%	70	66%
Gemiddelde			53%



Er kan worden aangenomen dat het vermogen van de warmtepomp wordt gedimensioneerd op 80% van het vermogen van het afgiftesysteem. Dan geldt dat 100% van de warmtevraag wordt ingevuld door de warmtepomp, volgens NEN7120 (2011), en hoeft er bij de bepaling van de SPF dus geen rekening gehouden te worden met elektrische bijstook tijdens piekmomenten.

Voor elk schillabel en daarbij horende benodigde afgiftetemperatuur kan vervolgens de SPF berekend worden op basis van de gemiddelde efficiëntiefactor; deze is 53%. Deze zijn te vinden in Tabel 27.

Tabel 27 - Seasonal performance indicator elektrische luchtwarmtepomp

Kengetal	Afgiftesysteem	SPF
Rendement ruimteverwarming: energielabel C ($\eta_{RV,C}$)	LT-radiatoren (55°C)	366%
Rendement ruimteverwarming: energielabel B ($\eta_{RV,B}$)	LT-radiatoren (45°C)	449%
Rendement ruimteverwarming: energielabel A ($\eta_{RV,A}$)	LT-radiatoren (35°C)	593%

De gevonden (berekende) waarden zijn aanzienlijk hoger dan die gegeven in NEN7120 (2011), zie Tabel 28. Vooral op het laagste temperatuurniveau verschilt de SPF aanzienlijk.

Tabel 28 - Opwekkingsrendementen van bodem/buitenluchtwarmtepompen, eventueel in de uitvoering van gebouwgebonden warmtelevering op afstand

Temperatuurniveau	Opwekkingsrendement
30°C-35°C	3,4
40°C-45°C	3,1
50°C-55°C	2,8

Bron: NEN 7120 (2011).

Conclusies voor de modellering

Voor de modellering worden de berekende SPF-waarden uit Tabel 27 aangehouden, welke zijn bepaald op basis van de input uit de validatiesessies.

Voor warmtapwater wordt de SPF van 220% aangehouden.

Utiliteit

Ontvangen informatie

Naar aanleiding van de sessie is de technologiematrix van KWA toegezonden, zie Tabel 29. Daarnaast zijn de waarden toegezonden door de DHPA ook hier toepasbaar.

Tabel 29 - Ontvangen informatie over de SPF voor utiliteitsbouw

Bron	Input
Charles Geelen (DHPA)	Een selectie van jaarrendementen uit gelijkwaardigheidsverklaringen. De gemiddelde SPF van luchtwarmtepompen bij afgifte van 30-35°C is 5,2. De gemiddelde SPF van luchtwarmtepompen bij afgifte van 50-55°C is 4,1. Dit zijn geen praktijkgegevens, maar zijn wel gevalideerd (zie Tekstbox).
Technologiematrix van KWA	In de Technologiematrix wordt standaard de aanname gedaan dat de SPF van de warmtepomp 4 is. Dit is echter aanpasbaar en niet specifiek voor een bepaald afgiftesysteem of een bepaalde afgiftetemperatuur en is inclusief warm tapwater.

Analyse van ontvangen commentaar

Voor utiliteit werd gerekend met een SPF van 310% (Energy Technology Reference Indicator projections for 2010-2050 (2014), Carlsson). Op basis van de technologiematrix en ontvangen waarden van de DHPA lijkt dit aan de lage kant.

Conclusies voor de modellering

De SPF wordt verhoogd naar 366%, gelijk aan de efficiëntie voor woningen met schillabel C.

Blokverwarming

Ontvangen informatie

Tijdens de sessie is de SPF van de luchtwarmtepomp ter sprake gekomen, zie Tabel 30.

Tabel 30 - Ontvangen informatie tijdens de sessie over SPF bij blokverwarming

Bron	Input
Albert Koedam (namens Aedes)	Bij blokverwarming een collectieve luchtwarmtepomp gebruiken om naar 70°C op te waarderen (SPF 3,6). Daarmee kunnen de bestaande leidingen en afgiftesystemen gebruikt worden.

Conclusies voor de modellering

De aangegeven waarde van 3,6 wordt overgenomen. Deze waarde geldt dan ook voor warmtapwater. We nemen aan dat ook warmtapwater geleverd wordt via het collectieve systeem, met de bestaande leidingen.

4.3 Bodemwarmtepomp

Investeringskosten

Woningen

Ontvangen informatie

De ontvangen informatie staat in Tabel 31. Daarnaast werd de 'Kostenoptimaliteitsstudie' (nieuwbouw en projectmatig) via Albert Koedam (Aedes) geadviseerd, maar deze is niet ontvangen.

Tabel 31 - Ontvangen informatie investeringskosten bodemwarmtepomp woningen

Bron	Input
Lambert ten Dekker (DWA)	Kosten voor een concreet, recent project van ca. 50 woningen met individuele warmtepompen gekoppeld aan een individuele bodemlus.
Wim Mans (Innoforte)	Eigen cijfers voor individuele woningen, dus geen projectmatige aanpak. De prijzen zijn niet gebaseerd op gerealiseerde projecten, maar op een analyse van prijslijsten van leveranciers gecombineerd met opslagen op basis van kengetallen voor de materialen en andere bijkomende kosten.
Zweedse Heat Pump Association	Kostenontwikkeling voor bodemwarmtepompen in Zweden. Het betreft systemen die 72 GJ/jaar leveren en die zijn geïnstalleerd op rotsachtige ondergrond. De kosten zijn daarom niet zonder meer over te nemen voor de Nederlandse markt.
Charles Geelen (DHPA)	Kosten bij verschillende vermogens, op te vragen bij DHPA-leden.
Technologiematrix KWA	Formule bestaande uit een vast bedrag plus opslag per kW.

Analyse van aangeleverde data

Er is een analyse uitgevoerd door RVO op kosten uit de bronnen gegeven in Tabel 32. De analyse is te vinden in Bijlage D.

Tabel 32 - Bronnen meegenomen in kostenanalyse bodemwarmtepomp

Bron	Inhoud
Arcadis	Kostenkentallen Wbouw
Innoforte	Eigen cijfers voor individuele woningen, dus geen projectmatige aanpak. De prijzen zijn niet gebaseerd op gerealiseerde projecten, maar op een analyse van prijslijsten van leveranciers gecombineerd met opslagen op basis van kengetallen voor de materialen en andere bijkomende kosten.
Milieu Centraal	Algemene cijfers van de website.
DHPA	Lucht-, bodem en ventilatiewarmtepompen, uitgangspunt is projectuitvoering van 50-100 woningen in een wijk.

Conclusies voor de modellering

De resultaten van de analyse van RVO worden overgenomen. Voor woningen worden de investeringskosten van warmtepompen gebaseerd op een vast bedrag plus een opslag per kW:

$$€ [8.460 + 753 \times \text{vermogen (kW)}].$$

De spreiding voor op zichzelf staande renovaties wordt ook overgenomen. Voor projectmatige renovaties wordt de formule:

$$€ [4.628 + 899 \times \text{vermogen (kW)}]$$

gebruikt. Hiervoor is slechts één bron gebruikt. Dit geeft geen goed beeld van de spreiding. Daarom wordt de spreiding van 39% gezien bij de op zichzelf staande installatie ook aangehouden voor projectmatig.

Voor de gevoeligheidsanalyse in de Startanalyse 0.8 van PBL zullen minimum- en maximumprijzen worden bepaald op basis van de standaarddeviatie. Deze zal nog worden bepaald.

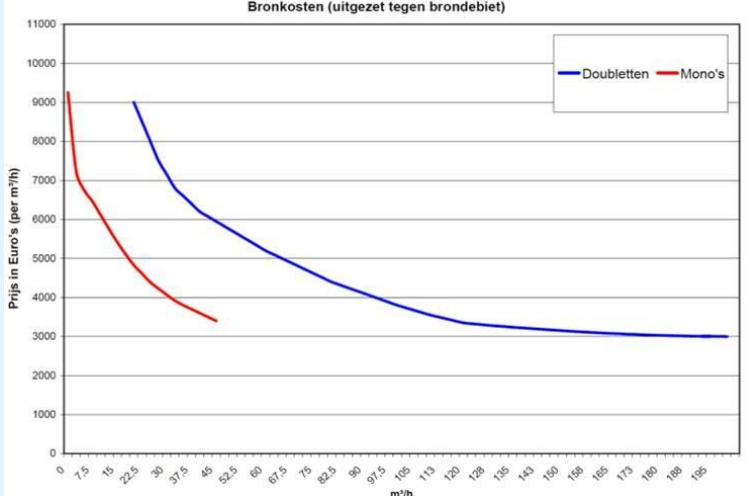
Utiliteitsbouw

Ontvangen informatie

Wat betreft de kosten voor bodemwarmtepompen voor toepassing in utiliteitsbouw is de informatie zoals weergegeven in Tabel 33 ontvangen.

Tabel 33 - Ontvangen informatie investeringskosten bodemwarmtepomp voor utiliteitsbouw

Bron	Input
Technologiematrix	Bodemenergie (BES + waterwaterwarmtepomp), lucht-water WP, biopelletketel (zonnecollectoren, pelletkachel): — Investeringskosten; — SPF. Kostendindicatie BWW horizontaal & verticaal exclusief Warmtepomp Y = 946,79x + 5000 R² = 0,9925 Y = 529,16x + 1000 R² = 0,8766 Aanlegkosten open bronnen Y = 75802ln(x) - 115000 Y = 61982ln(x) - 109000 Y = 61982ln(x) - 130000 Y = 61982ln(x) - 134000 Y = 61982ln(x) - 130000 Kosten water water warmtepomp Y = 193,32x + 3000 R² = 0,9971 Water/waterwarmtepomp: vaste kostencomponent van € 3.000, plus een variabele component van € 195 per kW vermogen. Gesloten lussen horizontaal BES: een vaste component van € 1.000, plus een variabele component van € 530 per kW vermogen. Gesloten lussen verticaal BES: een vaste component van € 5.000, plus een variabele component van € 950 per kW vermogen.

Bron	Input
Christiaan Nijboer (Rijksvastgoedbedrijf)	Opgave van kosten voor enkele warmte- en koudeopwekinstallaties bij verschillende configuraties en vermogens (bij RVB). Bronkosten (uitgezet tegen brondebiet) 

Analyse van aangeleverde data

Er is te weinig data beschikbaar voor een kostenregressie voor de investeringskosten van bodemwarmtepompen voor utiliteitsbouw. Naast de ontvangen informatie is de BENG (Arcadis) geraadpleegd. Daar wordt gerekend met € 51,21 per meter gebruiksoppervlak voor de warmtepomp en € 151,86 per meter gebruiksoppervlak voor de bodembron.

Conclusies voor de modellering

De cijfers uit de Technologiematrix worden overgenomen. Er wordt uitgegaan van een monovalent systeem met een monobron, verticaal geboord. De kosten worden gegeven door de formule]:

$$€ [1.000 + 530 \times \text{vermogen (kW)}]$$

voor de warmtepomp, plus:

$$€ [5.000 + 950 \times \text{vermogen (kW)}]$$

voor het BES. De spreiding in de waarden wordt aangenomen 39% te zijn, gelijk aan de spreiding voor woningen.

Voor de gevoeligheidsanalyse in de Startanalyse 0.8 van PBL zullen minimum- en maximumprijzen worden bepaald op basis van een geschatte standaarddeviatie.

Startanalyse 1.0

Voor de startanalyse 1.0 zal opnieuw worden gekeken naar de kosten van warmtepompen voor utiliteitsbouw. DHPA heeft aangeboden hier offertes ter vertrouwelijke inzage beschikbaar voor te willen stellen.

SPF

Ontvangen informatie

Een overzicht van de ontvangen informatie is te vinden in Tabel 34.

Tabel 34 - Ontvangen informatie over de seasonal performance factor van warmtepompen voor utiliteitsbouw

Bron	Input
Charles Geelen (DHPA)	Een selectie van jaarrendementen uit gelijkwaardigheidsverklaringen. De gemiddelde SPF van bodemwarmtepompen bij afgifte van 50-55 °C is 4,8. Dit zijn geen praktijkgegevens, maar zijn wel gevalideerd (zie Tekstbox).

Analyse van de ontvangen informatie

Op basis van gegevens van DHPA (Overzicht Jaarrendementen Warmtepompen, Charles Geelen) is de gemiddelde SPF van bodemwarmtepompen bij afgifte van 55 °C 4,8.

De ontvangen waarden staan weergegeven in Tabel 35. Voor beide waarden is de efficiëntiefactor bepaald ten opzichte van het theoretische Carnot-rendement. Dit is gedaan op basis van een gemiddelde buitenluchttemperatuur van 10°C (NEN7120). De gemiddelde efficiëntiefactor is 52%.

Tabel 35 - SPF van bodemwarmtepompen volgens DHPA en de resulterende efficiëntiefactor

Bron	SPF	Temperatuur (°C)	Efficiëntiefactor
DHPA	551%	32,5	41%
	479%	52,5	63%
Gemiddelde			52%

Er kan worden aangenomen dat het vermogen van de warmtepomp wordt gedimensioneerd op 80% van het vermogen van het afgiftesysteem. Dan geldt dat 100% van de warmtevraag wordt ingevuld door de warmtepomp, volgens NEN7120 (2011), en hoeft er bij de bepaling van de SPF dus geen rekening gehouden te worden met elektrische bijstook tijdens piekmomenten.

Voor elk schillabel en daarbij horende benodigde afgiftetemperatuur is vervolgens de SPF bepaald op basis van de gemiddelde efficiëntiefactor is 52%. Deze zijn te vinden in Tabel 36.

Tabel 36 - SPF elektrische bodemwarmtepomp

Kengetal	Afgiftesysteem	SPF
Rendement ruimteverwarming: energielabel C ($\eta_{RV,C}$)	LT-radiatoren (55 °C)	376%
Rendement ruimteverwarming: energielabel B ($\eta_{RV,B}$)	LT-radiatoren (45 °C)	468%
Rendement ruimteverwarming: energielabel A ($\eta_{RV,A}$)	LT-radiatoren (35 °C)	635%

De gevonden waarden zijn aanzienlijk hoger dan die gegeven in NEN7120 (2011), zie Tabel 28. Vooral op het laagste temperatuurniveau verschilt de SPF aanzienlijk. De waarden uit de validatiesessies worden aangehouden.

Conclusies voor de modellering

Voor de modellering worden de berekende SPF-waarden uit Tabel 36 aangehouden, welke zijn bepaald op basis van de input uit de validatiesessies. Voor warmtapwater wordt de SPF van 250% aangehouden.

Utiliteit

Ontvangen informatie

De ontvangen informatie is weergegeven in Tabel 37.

Tabel 37 - Ontvangen informatie over de SPF voor utiliteitsbouw

Bron	Input
Charles Geelen (DHPA)	Een selectie van jaarrendementen uit gelijkwaardigheidsverklaringen. De gemiddelde SPF van luchtwarmtepompen bij afgifte van 30-35°C is 5,5. De gemiddelde SPF van luchtwarmtepompen bij afgifte van 50-55°C is 4,8. Dit zijn geen praktijkgegevens, maar zijn wel gevalideerd (zie Tekstbox).
Technologiematrix van KWA	In de Technologiematrix wordt standaard de aanname gedaan dat de SPF van de warmtepomp 3 tot 4 is, afhankelijk van het bodemsysteem. Dit is echter aanpasbaar en niet specifiek voor een bepaald afgiftesysteem of een bepaalde afgiftetemperatuur en is inclusief warm tapwater.

Voor utiliteit werd gerekend met een SPF van 360% (Carlsson, 2014). Dit is in lijn met de waarde uit de technologiematrix, maar laag vergeleken met de waarden van de DHPA. De SPF wordt verhoogd naar 376%, gelijk aan de efficiëntie voor woningen met schillabel C.

4.4 Hybride buitenluchtwarmtepomp

Investeringskosten

Ontvangen informatie

Er is geen informatie ontvangen over de investeringskosten voor hybride warmtepompen.

Analyse

Door RVO is een analyse gedaan van een aantal typen hybride warmtepompen.

Voor woningen worden de investeringskosten van warmtepompen gebaseerd op een vast bedrag plus een opslag per kW.

Als referentie voor een hybride warmtepomp is het type Elga van Techneco (4,5 kW) gekozen. Dit is veruit het meest toegepaste model in de huidige markt. Hierin is een ingebouwd of extern boilervat in de prijs inbegrepen. Voor hybride warmtepompen zijn alleen prijsindicaties ontvangen voor op zichzelf staande investeringen. Voor hybride warmtepompen zijn drie verschillende prijsindicaties ontvangen:

5 kW
€ 5.681
€ 3.306
€ 3.823

Aangenomen kan worden dat de eerste indicatie aan de hoge kant ligt en op dit moment niet meer marktconform is. De gemiddelde marktprijs ligt dan ergens tussen de € 3.306 en € 3.823; een gemiddelde van € 3.565 met een spreiding van 7%.

Tabel 38 - Bronnen meegenomen in kostenanalyse hybridewarmtepomp

Bron	Inhoud
Arcadis	Kostenkentallen Wbouw.
Milieu Centraal	Algemene cijfers van de website.

Conclusies voor de modellering

Op basis van de analyse van RVO wordt een gemiddelde van € 3.565 met een spreiding van 7% aangehouden.

Utiliteit

Voor utiliteit wordt aangenomen dat de kosten gelijk zijn aan de kosten voor een luchtwarmtepomp gecombineerd met een HR-ketel. Hierbij geldt dat de luchtwarmtepomp gedimensioneerd is op 80% van de piekvraag.

SPF

Ontvangen informatie

Er is geen nieuwe informatie ontvangen over de SPF van hybride warmtepompen.

Conclusies voor de modellering

De SPF van de lucht-waterwarmtepomp wordt overgenomen, zoals in Tabel 27. Hierbij wordt het opwekkingsrendement behorend bij schillabel C aangehouden voor de slechtere schillabels. Ook voor utiliteit wordt de SPF van de lucht-waterwarmtepomp overgenomen. Dit is te zien in Tabel 39. Voor de volledigheid is hier ook het aandeel van de ruimteverwarming die elektrisch wordt ingevuld gegeven. Deze waarden zijn niet aangepast naar aanleiding van de validatiesessies.

Tabel 39 - Fractie van de ruimteverwarming die elektrisch wordt verzorgd en seasonal performance factor van de elektrische ruimteverwarming van hybride buitenluchtwarmtepomp

Woning/utiliteit	Schil	Aandeel ruimteverwarming dat elektrisch wordt gedaan	SPF
Woning	A	0,52	593%
Woning	B	0,49	449%
Woning	C	0,47	366%
Woning	D	0,45	366%
Woning	E	0,42	366%
Woning	F	0,4	366%
Woning	G	0,38	366%
Utiliteit	Zeer goed	0,52	366%
Utiliteit	Goed	0,49	366%
Utiliteit	Huidig	0,38	366%

Blokverwarming

Ontvangen informatie

Er is geen nieuwe informatie ontvangen over dit onderwerp.

Conclusies voor de modellering

Blokverwarming wordt gezien als een warmtepomp met gasbijstook.

4.5 Biopelletketel

De biopelletketel is geen onderdeel van de validatiesessies.

Eventueel kunnen de volgende bronnen gebruikt worden:

- NBKL heeft aangeboden informatie te sturen (nog niet ontvangen);
- Lex heeft ook aan Milieu Centraal gevraagd, daar is een berekening gedaan.

4.6 IR-panelen

IR-panelen zijn geen onderdeel van de validatiesessies.

Het vermogen van de IR-panelen moet worden gedimensioneerd op 80% (tot maximaal 100%) van de warmtevraag (Leo Brouwer komt met een notitie).

4.7 HR-ketel

Ontvangen informatie

De ontvangen informatie is te vinden in Tabel 40.

Tabel 40 - Ontvangen informatie over HR-ketels

Bron	Input						
Nederlandse Verwarmingsindustrie	3. Installatiegegevens Wat opvalt in het overzicht van invoergegevens is het ontbreken van het volgende: – Leidinglengten uittapleidingen tussen opwekkingstoestel en tappunten. Deze bepalen het afgifteverlies (NTA 8800, par. 13.3) – Warmteverlies afleverset (indien toegepast) Dit verlies is gegeven in NTA 8800, par. 13.4.2, en bedraagt forfaitair 60 W. Goed geïsoleerde afleversets hebben een verlies van ca. 25 W. Voor de opbrengsten worden o.a. de volgende invoergegevens gevraagd. Rendement van ketels <table><tr><td>Rendement van ketel woningen (gemiddeld o.b.v. warmwater en ruimteverwarming)</td><td>90%</td><td>onderwaarde</td></tr><tr><td>Rendement van ketel utiliteit (gemiddeld o.b.v. warmwater en ruimteverwarming)</td><td>95%</td><td>onderwaarde</td></tr></table> Voor tapwater geeft NEN7120/NTA 8800 een lage forfaitaire waarde. In de praktijk leveren moderne HR-ketels een taprendement > 90%. Deze verklaringen worden gecontroleerd door het BCRG en gepubliceerd op de site: https://www.bcr.nl/	Rendement van ketel woningen (gemiddeld o.b.v. warmwater en ruimteverwarming)	90%	onderwaarde	Rendement van ketel utiliteit (gemiddeld o.b.v. warmwater en ruimteverwarming)	95%	onderwaarde
Rendement van ketel woningen (gemiddeld o.b.v. warmwater en ruimteverwarming)	90%	onderwaarde					
Rendement van ketel utiliteit (gemiddeld o.b.v. warmwater en ruimteverwarming)	95%	onderwaarde					

Conclusies voor modellering

De modellering van de HR-ketel blijft onveranderd.

5 Ontvangen maar niet meegenomen

Infinitus: Warmtepomp concepten voor de gestapelde bouw

Beschrijving concepten voor gestapelde woningen, voor- en nadelen. Componenten installatie benoemd, maar geen kentallen.

Deze input is niet meegenomen omdat er geen concrete kentallen zijn gegeven.

Energiebesparing TNO

Koudevraag en besparing op warmtevraag bij isolatie. Voor utiliteit.

Deze input is onderdeel van de notitie van TNO.

Algemeen meedenken over blokverwarming: Lambert Dekker

In het model wordt gerekend met een verlaging van de prijs van warmtepompen ten opzichte van individuele warmtepompen. Zoals in de bijeenkomst aangegeven is deze vergelijking te kort door de bocht. Bij blokverwarming spelen er een aantal zaken die het complex maken.

1. Voor ruimteverwarming is het goed mogelijk om een warmtenet aan te leggen op laagtemperatuur en dit net te voeden met warmtepompen. De woninginstallatie moet dan wel geschikt zijn voor laagtemperatuur. Maar dat geldt ook voor individuele warmtepompen. Als dit van toepassing is dan is het op zich te verantwoorden om met een lager bedrag te rekenen voor de centrale 'blokwarmtepompen'.
2. Het punt is dat warm tapwater dan nog niet opgelost is. Hiervoor worden er in de praktijk verschillende systemen toegepast in combinatie met een blokverwarming voor ruimteverwarming:
 - a Individuele elektrische boilers: relatief duur in verbruik maar goedkoop in aanschaf.
 - b Individuele gasgestookte geisers: woningcorporaties/VVE's willen hier vanaf vanuit het oogpunt van duurzaamheid en veiligheid.
 - c Apart warm tapwater circulatienet gevoed met ketels.

Voor al deze situaties geldt dat ook dit onderdeel verduurzaamd zal moeten worden. In het Vesta MAIS-model zullen hiervoor dan wel aanvullende kosten opgenomen moeten worden. Omdat dit maatwerk is, is het lastig om hier algemene kengetallen voor op te nemen. In een aantal studies zien wij dat de totale verduurzaming van blokverwarming (dus inclusief warm tapwater) per woning al gauw € 8.000-12.000 kost (excl. aanpassing LT-afgifte).

3. Voor warmtapwater is hoog temperatuur warmte nodig. Als hiervoor HT-warmtepompen ingezet worden heeft dit uiteraard effect op de COP. Deze is niet te vergelijken met laagtemperatuur warmteopwekking met warmtepompen voor ruimteverwarming.

Deze input is niet meegenomen omdat we niet genoeg informatie hebben over blokverwarming, welke gebouwen blokverwarming hebben en in welke vorm; daarnaast vergt dit een ingewikkelde modellering en vraagt veel tijd om dit op te zetten.

Market situation - Sweden



Deze input is niet meegenomen omdat het niet aantoonbaar van toepassing is op de Nederlandse markt.

Rijksvastgoed, infraroodbureaus

Dit betreft verwarmingspanelen (stralingsmatjes) verwerkt in bureaus. Er zit ook ventilatie in voor verkoeling in de zomer.

De hypothese is dat deze individuele klimatisering (regelbaar comfort per werkplek) ervoor zorgt dat met een lagere luchttemperatuur. In de winter kan worden gewerkt, en een hogere temperatuur in de zomer. Dit zou energie besparen.

Uit het eerste onderzoek met deze bureaus door o.a. TNO (TKI Impekt) blijkt overigens dat de besparing van 5 à 6% op het primair energiegebruik vooral wordt behaald in de zomer, niet in de winter. Het blijkt lastig om de luchttemperatuur in de winter te verlagen zonder klachten.

Kosten van de bureaus zijn ca. € 3.200 per werkplek.

Ik kan me voorstellen dat dit de komende tijd vaker zal worden toegepast, vooral om het comfort te verhogen.

Of het bruikbaar is voor het voor het Vesta MAIS-model betwijfel ik (vanwege beperkt besparingseffect).

Deze input is niet meegenomen omdat het alleen over bureaus gaat en dus niet algemeen toepasbaar is voor woningen of utiliteit.

6 Afbakening

Onderwerpen die niet zijn gevalideerd in deze opdracht:

- Ventilatie
- Afgiftesysteem.
- Leercurves (PBL is voornemens hier een gevoeligheidsanalyse op uit te voeren)
 - Er is input ontvangen van Nederlandse Verwarmingsindustrie
 - Algemene input uit validatiesessies: Technieken waar arbeidsloon een groot deel betreft, zullen waarschijnlijk eerder stijgen dan dalen. Anderzijds is er ook leereffect.
- Koude
- Warmtevraag, capaciteitsvraag (hier zijn validatiesessies over georganiseerd die TNO verwerkt).
- WKO-modellering
- Aquathermie
- Zonthermie

7 Bibliografie

Carlsson, J., 2014. ETRI 2014 - Energy Technology Reference Indicator projections for 2010-2050, Luxembourg: Publications Office of the European Union.

CE Delft, 1993. Potentieel van grootschalige warmtelevering in de bestaande woningbouw, Delft: CE Delft.

ISSO, 2012. ISSO-publicatie 7 Grondleidingen voor warmte- en koudetransport, Rotterdam: ISSO.

Keijzer, P. d., 2018. Warmteboek : Warmte- en koudesystemen bij Eneco, versie 1.20, sl: sn



Bijlagen



A Gelijktijdigheid

Lex Bosselaar, 19 juni 2019

In de bespreking van de validatiesessies van het Vesta Mais-model kwam discussie naar voren over de gelijktijdigheid van de warmtevraag in een buurt. De warmtevraag zal niet in alle woningen gelijk zijn, zodat het vermogen van de bron van het warmtenet (en de transportleidingen) lager kan zijn dan de som van de vermogensvragen.

Voor de berekening aan de gelijktijdigheid is het functioneel ontwerp nu een factor 0,5 aangehouden.

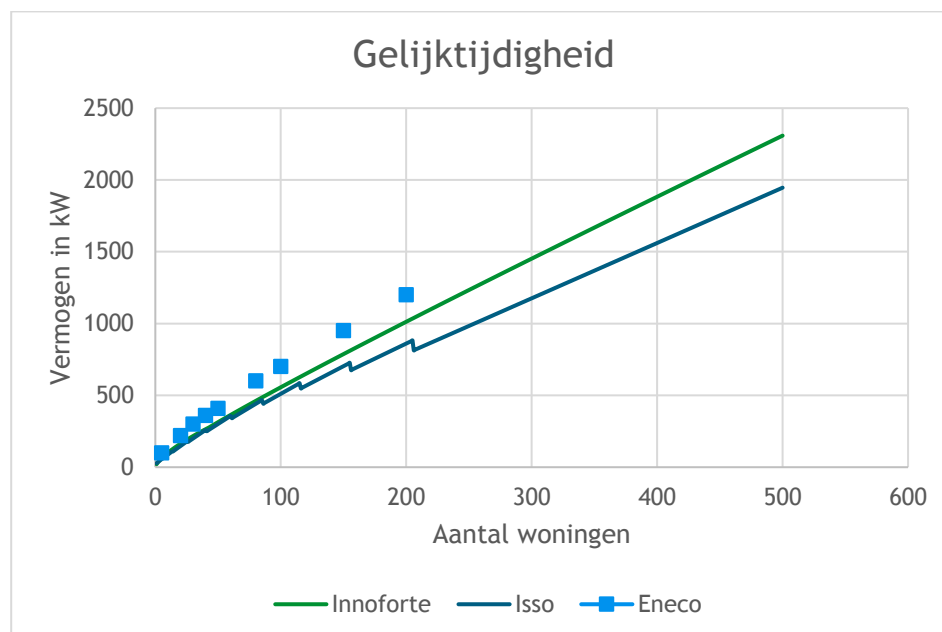
Er zijn drie modellen naar voren gekomen voor de bepaling van de gelijktijdigheid. Alle drie nemen ze de warmtapwatervraag mee. De gelijktijdigheid bij warmtapwater is lager, maar het vermogen benodigd voor warmtapwater is meestal hoger dan voor ruimteverwarming.

De methodes zijn:

- ISSO 7
Het ISSO publicatie 7 voor de aanleg van grondbuisleidingen geeft een tabel met gelijktijdigheidsfactoren afhankelijk van het aantal woningen. Het vermogen voor tapwater wordt maar voor één woning gerekend.
- Commentaar Eneco
Peter de Keijzer van Eneco verwijst naar een grafiek in een handboek. Daarin is apart te zien wat de gelijktijdigheid is voor ruimteverwarming en voor warmtapwater.
- Commentaar van Innoforte.
Innoforte gebruikt een formule voor bepaling van de gelijktijdigheid.

In Figuur 3 is het resultaat te zien van de drie methodes.

Figuur 3 - Overzicht van de drie berekeningsmethodes voor gelijktijdigheid in warmtenetten



De methode van Eneco komt op de hoogste waarde voor het benodigde vermogen. Het nadeel van deze methode is dat er geen formules zijn en alleen maar een kopie van een grafiek. De methode van ISSO 7 lijkt het benodigde vermogen voor ruimteverwarming wat te onderschatten, omdat het maar één keer meetelt. De methode van Innoforte heeft formules en is dus voor alle varianten door te rekenen. Het resultaat zit tussen de andere methodes in.

Conclusie

De methode van Innoforte heeft de voorkeur, omdat er formules voor zijn en het warmtapwater beter meeneemt dan de ISSO-7-methode. Het verschil met de Eneco-methode is beperkt.

De gebruikte formules:

$$Q_{tw} = P_{wtw} * \text{Wortel}(n)$$

n = aantal woningen

$$k_{rv} = 100 - 12 * \ln(n)$$

$$k_{rv} = 55 \text{ als } 100 - 12 * \ln(n) < 55$$

$$Q_{rv} = (k_{rv}/100) * P_{cv} * (n\text{-wortel}(n))$$

P_{wtw} = het benodigde vermogen voor warmtapwater per woning

P_{cv} = het benodigde vermogen voor ruimteverwarming per woning.

Eventueel kan de formule benaderd worden door voor warmtapwater een gelijktijdigheidsfactor van 10% te nemen en voor ruimteverwarming 50%. Voor warmtapwater moet dan wel voor elke woning de tapwatervraag en ruimteverwarmingsvraag aparte doorgerekend worden en gesommeerd. In het oude functioneel ontwerp is voor de woningen alleen de ruimteverwarmingsvraag opgegeven.

De 50% en 10% zijn gebaseerd op een wijk van 100 woningen.



B Notitie Greenvis: Schatting van de totaallengte aansluitleiding en de totaallengte van hoofdleidingnet per buurt

Documentnummer [GVXXXXX-XXX-MXX-XXXXX X.0]

Datum 22-5-2017

Klantorganisatie [Bedrijfsnaam]
Opdrachtgever [Naam, functie]
Auteur(s) Andries Lof
Status Concept
Gecontroleerd door Johan Verheij

Geachte heer Van Polen,

In deze memo beschrijven wij het model dat we hebben gebruikt in de validatiestudie voor Vesta. De uitkomst van het model geeft een schatting van de totaal lengte aansluitleiding en de totaal lengte van hoofdleidingnet per buurt.

Inhoud

1. Model
2. Discussie
3. Resultaten

Aan het eind van deze memo treft u de volgende bijlage:

1. Type wegen

1 Greenvis model



Fig 1. Resultaat Greenvis leidingnet model

1.1 Input voor het model

Het model is geschreven in Python en maakt gebruik van een aantal databases.

- Buurtgrenzen CBS 2018
- Basisregistratie Adressen en Gebouwen 2019 (BAG)
- OpenStreetMap (OSM) straat gegevens

1.2 Werkwijze van het model

Panden:

Het script selecteert de panden en 'verblijfsobjecten' (VO) uit de BAG in één buurt. De geselecteerde panden en verblijfsobjecten worden daarna gefilterd, waarbij de volgende stappen worden gedaan:

- Eerste filter verwijdert de panden zonder VO.
- Tweede filter voegt vervolgens panden zonder VO weer toe als de oppervlakte groter is dan 50 m².
- Derde filter, filtert panden als het VO een 'overige gebruiksfunctie' is en de verwacht vraag lager is dan 7 GJ/jr.

Uitleg bij de filters: Panden zonder VO zijn bijna altijd schuurtje in achtertuinen, maar kunnen bijvoorbeeld ook transformatorhuisjes zijn. Panden zonder VO maar groter dan 50m² kunnen een hoge warmtevraag hebben. Denk bijvoorbeeld aan glastuinbouw (deze panden hebben vaak geen VO), deze panden zijn interessant om juist wel mee te nemen en hier zorgt de tweede filter voor. Panden met een VO met 'overige gebruiksfunctie' hebben geen of een zeer lage warmtevraag en worden in de praktijk vaak niet aangesloten op een warmtenet.

Aansluitleidingen:

De panden die overblijven worden aangesloten op het stratennetwerk van de OSM. Daarin vindt een ranking plaats.

- Rank 0: snelwegen en provinciale wegen. Zie bijlage 1 voor een compleet overzicht van wegen in rank 0.
- Rank 0: aansluitleidingen die langer dan 80 meter zijn.
- Rank 1: doorgaande wegen; de benaming in OSM is 'secondary'.
- Rank 2: alle andere type wegen zoals fietspaden, etc. Zie bijlage 1 voor een overzicht van alle types met rank 2.
- Rank 3: wegen waarvan de straatnaam overeenkomt met het adres van het pand.

Het resultaat met de hoogste rank wordt gekozen. Rank 0 wordt nooit gekozen en dus worden panden die alleen maar een aansluitleiding met rank 0 hebben niet aangesloten in het model.

Hoofdleidingen:

De wegen waar minder dan 1 aansluiting per 100 meter is aangesloten worden niet gebruikt voor het hoofdleidingnet. Meer uitleg over de gevolgen van deze afweging zijn beschreven in het volgende hoofdstuk.

2 Discussie

Omdat een realistisch tracé van een warmtenet erg buurtspecifiek is, wijkt de berekende lengte in het model soms af van de lengte die een realistisch warmtenet zou hebben. Hieronder beschrijven we een aantal specifieke gevallen waarin deze afwijkingen op kunnen treden.

Overschatting aansluitleiding lengte



Fig 2a. Overschatting aansluitlengte



Fig 2b. Handmatig aanpassing

In het voorbeeld van Fig 2a. is een rijtje huizen die niet direct aan een straat, fietspad of voetpad liggen. Het model tekent nu aansluitleidingen naar de dichtstbijzijnde straat. De totale lengte van aansluitleidingen van deze 7 huizen is ~200m. In de handmatige aanpassing (Fig 2b.) is de totale lengte aansluitleiding ~50m en de lengte van de extra hoofdleiding ook ~50m. Deze situatie komt niet vaak voor aangezien de OSM-database zeer uitgebreid is en dus nagenoeg alle fietspaden, voetpaden etc. bevat.

Overschatting hoofdleiding lengte



Fig 3a. Overschatting hoofdleiding net



Fig 3b. Handmatig aanpassing

In Fig 3a. is een situatie waar het Greenvis model een overschatting maakt van de hoofdleiding lengte. In de handmatige aanpassing (Fig 3b.) is weergegeven dat een deel van de hoofdleiding kan worden verwijderd. In dit voorbeeld is de overschatting van de lengte ~75m.

Underschatting hoofdleiding lengte

Een onderschatting van het hoofdleidingnet kan ook gebeuren. Dit gebeurt als huizen erg ver van elkaar liggen (bijvoorbeeld in buitengebieden), zoals in het extreme voorbeeld hieronder (Fig 4).

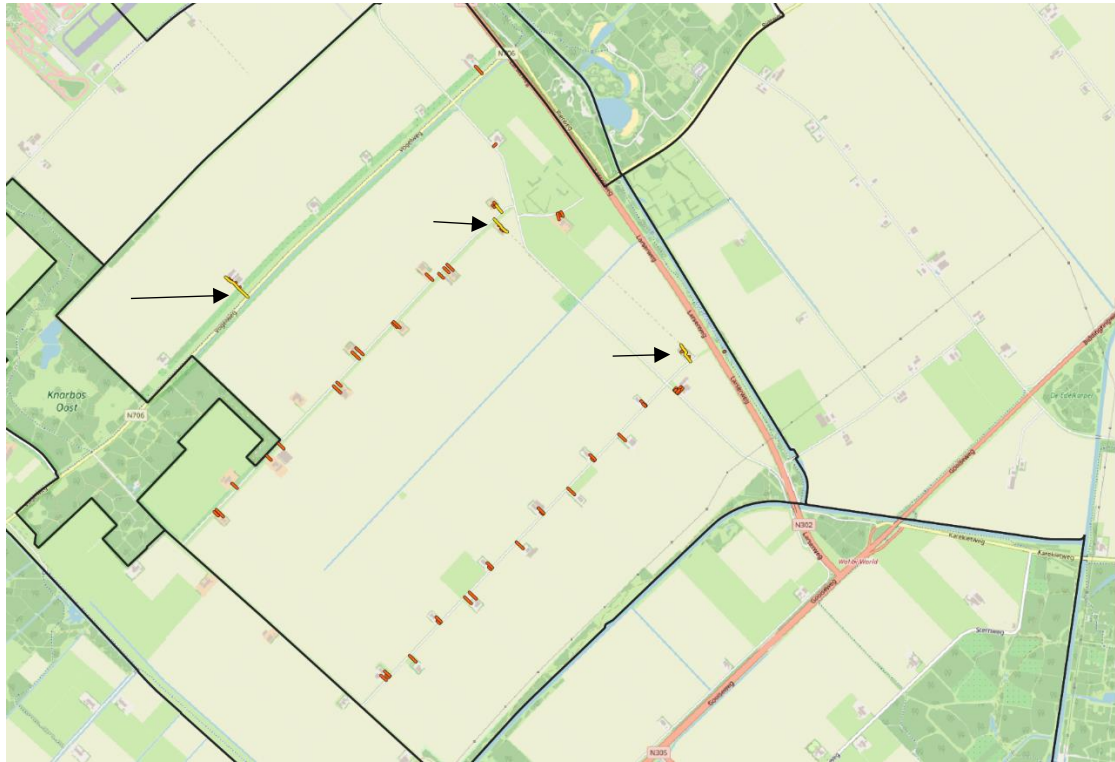


Fig 4. Underschatting van het hoofdleidingnetwerk (bij de pijlen in geel = ~600m).

Een realistische lengte voor het hoofdleidingnet is ~16000m. De oorzaak van de onderschatting ligt in het feit dat model eist dat er minimaal 1 aansluiting per 100m is. Dit zit in het model omdat deze eis zorgt voor een opschoning van de het hoofdleidingnet in bewoonde gebieden. In het voorbeeld leidt deze eis echter tot een totaal onrealistisch beeld. In het model is hier wel een aanpassing voor te maken. Bijvoorbeeld door de aansluitingen per lengte hoofdleiding te laten schalen met de adres dichtheid.

3 Resultaten

In het document resultaat.csv staan de volgende gegevens:

'FID'	Identificatienummer voor intern gebruik.
'BU_CODE'	Buurtcode zoals in de Buurtgrenzen CBS 2018.
'Panden'	Aantal panden volgens Greenvis filtering.
'Aansluitingen'	Aantal aansluitleidingen in de buurt. Panden die verder dan 80meter van de weg afliggen worden niet aangesloten.
'Aansluit_lengte_m'	Som van de lengtes van alle aansluitleidingen.
'Hoofdleiding_lengte_m'	Som van de lengtes van alle hoofdleidingen.

Bijlage 1. Type wegen en hun rank:

Hieronder een volledig overzicht van de verschillende type wegen en hun toegekende rank zoals beschreven in 1.2

Rank 0:

'abandoned','path','access','Bouwverkeer','bridleway','bus_stop','conveyor','corridor','crane','crossing','dismantled','disused','elevator','emergency_bay','escalator','escape','ford','miniature','motorway','motorway_link','no','path','platform','planned','primary','primary_link','proposed','raceway','ramp','rest_area','services','steps','trail','trunk','trunk_link','unsurfaced','virtual'

Rank 1:

'secondary','secondary_link'

Rank 2:

'asf','construction','cycleway','footway','living_street','pedestrian','residential','road','service','track','unclassified','tertiary','tertiary_link'

C Notitie vereenvoudigde berekening warmteverlies warmtenetten (Sabine Jansen, TU Delft)

Table of Contents

1	Disclaimer	1
2	Vereenvoudigde berekening warmteverlies warmtenetten	2
2.1	Vereenvoudigde rekenaanpak	2
2.1.1	Bepaal de lengte van alle leidingen in het gebied	2
2.1.2	Bepaal leiding diameter	2
2.1.3	Selecteer leiding type en bepaal warmteverlies coëfficiënt	3
2.1.4	Bepaal jaarlijks warmteverlies met eq. 1	3
2.2	Voorbeeld:	4
3	Bronnen	5
3.1.1	Warmteboek eneco	5
3.1.2	Dichtheid van water	5

1 Disclaimer

Deze notitie presenteert een vereenvoudigde methode die kan worden gebruikt voor een eerste inschatting, als het exacte ontwerp nog niet bekend is. In een later stadium kunnen optimalisaties tot een nauwkeuriger inzicht leiden.

2 Vereenvoudigde berekening warmteverlies warmtenetten

2.1 Vereenvoudigde rekenaanpak

Een vereenvoudigde berekening van de warmteverliezen van distributie kan worden uitgevoerd op basis van:

- De totale lengte van de leidingen
- de leidingdiameter en het type (hiermee hangen de verliezen per strekkende meter leiding samen)
- de temperaturen in de leidingen (verschilt dus voor aanvoer en retour)

De totale warmteverliezen kunnen dan als volgt worden bepaald:

Warmteverliezen zijn:

$Q_{distr.verlies} =$

$$L \cdot U \cdot \left(\frac{T_{aanvoer} + T_{retour}}{2} - T_{omgeving} \right) \cdot 8760 \text{ uur} / 1000 \quad \text{Eq. 1}$$

- $Q_{distr.verlies}$ = totaal warmteverlies van de betreffende leiding (kWh/jaar)
- L = Leidinglengte (m)
- U = warmteverlies coëfficiënt van de leiding (W/(m¹K))
- $T_{omgeving}$ = temperatuur van de omliggende omgeving, voor ondergrond kan een waarde van 12°C worden aangehouden

Onderstaand worden de stappen verder toegelicht.

2.1.1 Bepaal de lengte van alle leidingen in het gebied

Splits de leidingen op :

- Transportleiding (indien van toepassing)
- Primair net

- Secundair net
- Woning/ gebouwaansluitingen

Van alle leidingen geldt dat aanvoer en retour apart moeten worden opgenomen in de berekening, vanwege de andere temperatuur.

2.1.2 Bepaal leiding diameter

De warmteverlies coëfficiënt van een leiding hangt af van de diameter en de isolatiewaarde. De leidingdiameter kan worden ingeschat op basis van benodigd vermogen, temperatuurverschil tussen aanvoer en retour, en maximale stroomsnelheid.

2.1.2.1 Bepaal debiet op basis van vermogen en ΔT

Bepaal het benodigde debiet op basis van het vermogen en het temperatuurverschil tussen aanvoer en retour

$$\text{debiet} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = \frac{\dot{Q}}{\rho \cdot c \cdot (T_{aanvoer} - T_{retour})} \quad \text{Eq. 2}$$

- $\dot{Q}$ = totaal benodigd thermisch vermogen (kW)
- ρ = dichtheid (kg/m³);
voor water geldt 1000 kg/m³ bij 0°C, of 965 kg/m³ bij 90°C. zie hst 2.
- c = soortelijke warmte (kJ/(kgK)); voor water geldt 4,2 kJ/(kgK)

2.1.2.2 Maximale stroomsnelheid:

Bij een uiteindelijk ontwerp hangt de maximale stroomsnelheid en de leidingdiameter af van een berekening en optimalisatie van drukverlies, kosten en warmteverlies.

Voor een vereenvoudigde berekening kunnen de volgende waarden worden gehanteerd:

- Voor kleine leidingen (gebouwaansluiting): maximaal 1 m/s¹
- Voor secundaire leidingen: maximaal 2 m/s²

Bepaal voor elk type leiding (genoemd onder 4.1.1) het benodigde vermogen op basis van de (piek)³ warmtevraag van de aangesloten gebouwen.

Vervolgens wordt de inwendige diameter als volgt berekend:

$$\text{Oppervlakte binnencirkel leiding} = \frac{\text{debiet}}{\text{snelheid}} = \text{diameter}^2 \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$\text{Benodigde diameter} = \sqrt{\frac{\text{debiet}}{\text{snelheid}} \cdot \frac{4}{\pi}}$$

Voorbeeld: Voor een vermogen van 12 MW en een 70-40 warmtenet:

$$\text{debiet} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = \frac{12000}{1000 \cdot 4,2 \cdot (70 - 40)} = 0,10 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Benodigde diameter} = \sqrt{\frac{0,10}{2} \cdot \frac{4}{\pi}} = 0,250 \text{ mm}$$

Bij deze diameter kan een bepaald type leiding worden gekozen. In onderstaande tabel staan de bijbehorende warmteverliescoëfficiënten.

2.1.3 Selecteer leiding type en bepaal warmteverlies coëfficiënt

Selecteer voor elke onderdeel van het net (primair, secundair, gebouwaansluiting) de juiste diameter en leiding. In onderstaande tabel zijn de bijbehorende warmteverliescoëfficiënten weergegeven.

In een tabel kunnen de verschillende onderdelen worden weergegeven:

Onderdeel	Lengte	T _{aanv}	T _{ret}	DN	U*C	warmteverlies
	m	°C	°C	mm	W/(mK)	kWh/jaar
Primair						
Secundair						
Gebouw aansluiting						

Table 4-1: pipe diameters and corresponding heat transfer coefficients (ISSO, 2012)

DN	d _i [m]	d _o [m]	U*C [Wm ⁻¹ K ⁻¹]
20	0.0217	0.090	0.136
25	0.0285	0.090	0.165
32	0.0372	0.110	0.160
40	0.0431	0.110	0.194
50	0.0545	0.125	0.215
65	0.0703	0.140	0.253
80	0.0825	0.160	0.261
100	0.1071	0.200	0.276
125	0.1325	0.200	0.318
150	0.1603	0.250	0.375
200	0.2101	0.315	0.401
250	0.2630	0.400	0.357
300	0.3127	0.450	0.456

Tabel 1: DN leidingen en warmteverliescoëfficiënten (U*C)

2.1.4 Bepaal jaarlijks warmteverlies met eq. 1

$$Q_{\text{distr.verlies}} =$$

$$L \cdot U \cdot \left(\frac{T_{\text{aanvoer}} + T_{\text{retour}}}{2} - T_{\text{omgeving}} \right) \cdot 8760 \text{ uur} / 1000 \quad (\text{Eq 1})$$

- Zie Eq. 1

¹ Zie Warmteboek Eneco Hst 5.4

² Zie referentie hoofdstuk

³ Piekvermogen kan worden beperkt door verschillende maatregelen, zoals thermische opslag op gebouwniveau. Hierover meer in Hst XXX

3 Bronnen

3.1.1 Warmteboek eneco

Bij een (voor kleinere leidingdiameters) maximaal toegestane snelheid van het stadsverwarmingswater in de leiding van 1.0 m/s leidt dit tot een minimaal vereiste leidingdiameter van

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot v_{\max}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00187}{\pi \cdot 1,0}} = 0,0048 \text{ m} = 48 \text{ mm.}$$

<https://www.gidsduurzamegebouwen.brussels.nl/de-leidingen-dimensioneren-om-drukverliezen-te-beperken.html?IDC=9566#>

2. De binnendiameter bepalen

Op basis van het hydraulisch debiet Q en een referentiesnelheid v, de binnendiameter van de leiding d bepalen aan de hand van de volgende formule:

- v = 0,4 m/sec. voor diameters ≤ DN20;
- v = 1,0 m/sec. voor diameters < DN100;
- v = 1,5 m/sec. voor diameters < DN150;
- v = 2,0 m/sec. voor diameters < DN150;

$$d = \sqrt{3,6 \cdot 10^6} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}}$$

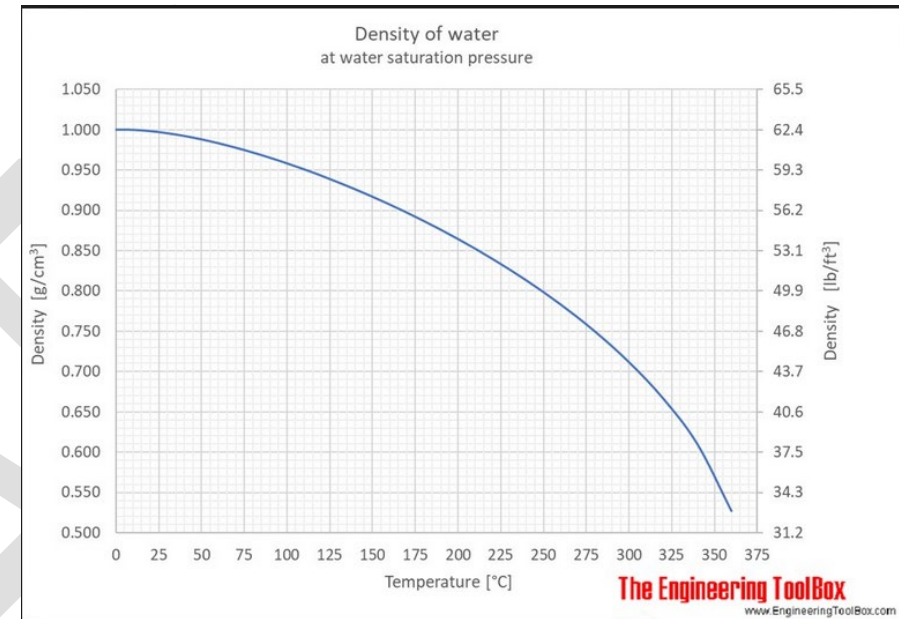
met d in [m], Q in [l/u] en v in [m/sec.]

De aanbevolen waarden voor de referentiesnelheden v zullen gekozen worden in functie van de nominale diameter van de leiding:

3. De diameter aanpassen in functie van de drukverliezen

De diameter van de leiding aanpassen, opdat de drukverliezen [ΔP] van de leidingen zich tussen 50 en 100 Pa/m zouden situeren.

3.1.2 Dichtheid van water



D Notitie analyse warmtepompprijzen (RVO)



Datum
3 juni 2019

memo

Auteur: Tomas Olejniczak
Betreft: Kostenkengetallen warmtepompen t.b.v. warmtetransitieplannen gemeenten

Achtergrond

Op 17 januari 2019 is de werkgroep voor de uitbreiding conversietechnieken in het Vesta MAIS bijeengekomen, bestaande uit vertegenwoordigers van ECN/TNO, RVO, PBL en CE Delft. Ten behoeve van de uitbreiding van de conversietechnieken in het Vesta MAIS model blijkt er behoefte aan éénduidige kentallen voor investeringen in warmtepompen. In dit kader heeft RVO in april en mei 2019 verschillende marktconforme prijzen gecombineerd, om zo te komen tot een richtlijn voor de investering in een warmtepomp. De analyse is hier beperkt tot de hoogte van de investering voor een warmtepomp in een bestaande de woning, die in de huidige situatie met een HR-ketel op aardgas wordt verwarmd.

Methodiek

Marktconforme kentallen zijn aangeleverd door de volgende partijen: Arcadis, Innoforte, Milieucentraal, Klimaatexpert, Internationaal Energieagentschap (IEA) Annex 45, DHPA, Urgenda en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

Er zijn drie verschillende warmtepomptechnieken genomen als basis voor de analyse:

Datum
3 juni 2019

- Hybride warmtepomp lucht-water
- Warmtepomp lucht combi (buitenopstelling)
- Warmtepomp bodem combi

Als referentie voor een hybride warmtepomp is het type Elga van Techneco (4,5 kW) gekozen. Dit is veruit het meest toegepaste model in de huidige markt. In de categorieën *warmtepomp lucht* en *warmtepomp bodem* is gekozen voor een gemiddelde marktprijs van verschillende modellen, in het bereik van 3 t/m 15 kW. Hierin is een ingebouwd of extern boilervat in de prijs inbegrepen. Aanpassing van de afgifteapparatuur naar lage-temperatuurverwarming, bijvoorbeeld door de plaatsing van LT-radiatoren, is niet meegenomen. Voor hybride warmtepompen zijn alleen prijsindicaties ontvangen voor op zichzelf staande investeringen; voor lucht/waterwarmtepompen en grond/waterwarmtepompen is gerekend met het scenario van een op zichzelf staande investering en een scenario van projectmatige aanpak.

Resultaat

Alle prijsaanduidingen zijn exclusief btw.

Hybride warmtepomp:

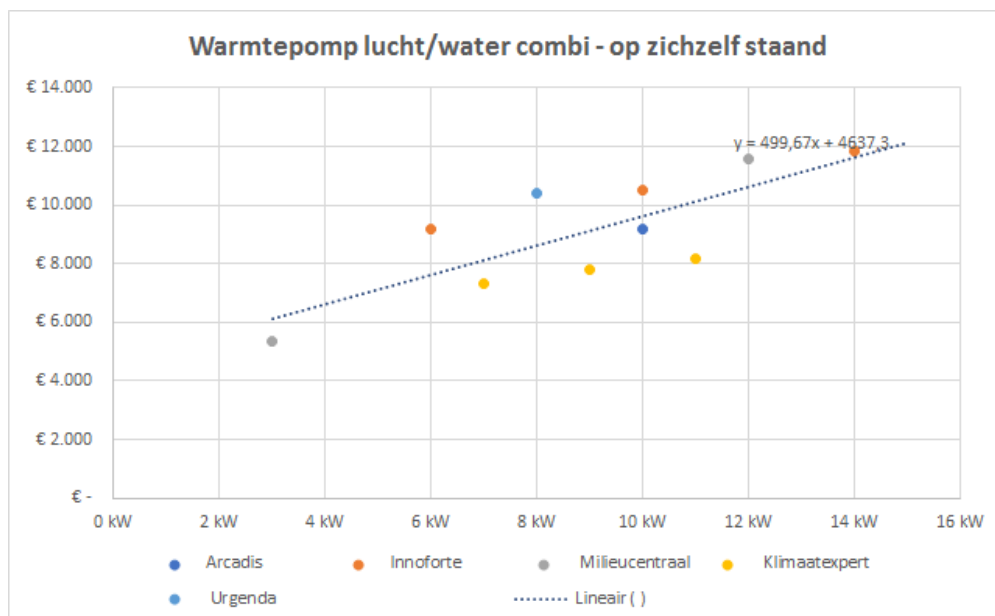
Voor hybride warmtepompen zijn drie verschillende prijsindicaties ontvangen:

5 kW
€ 5.681
€ 3.306
€ 3.823

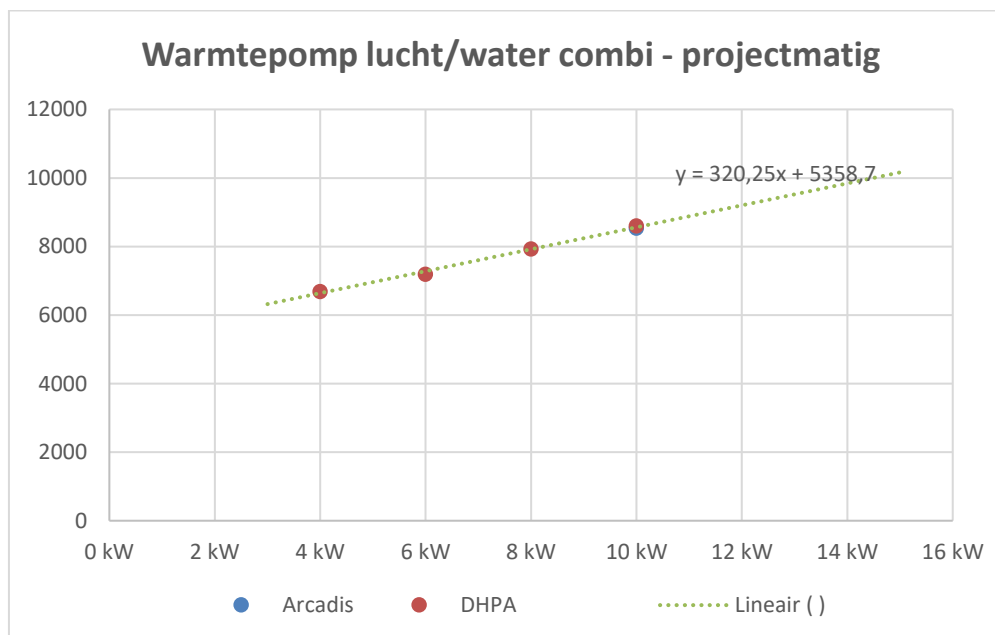
Aangenomen kan worden dat de eerste indicatie aan de hoge kant ligt en op dit moment niet meer marktconform is. De gemiddelde marktprijs ligt dan ergens tussen de € 3.306 en € 3.823; een gemiddelde van € 3.565 met een spreiding van 7%

Lucht/waterwarmtepomp:

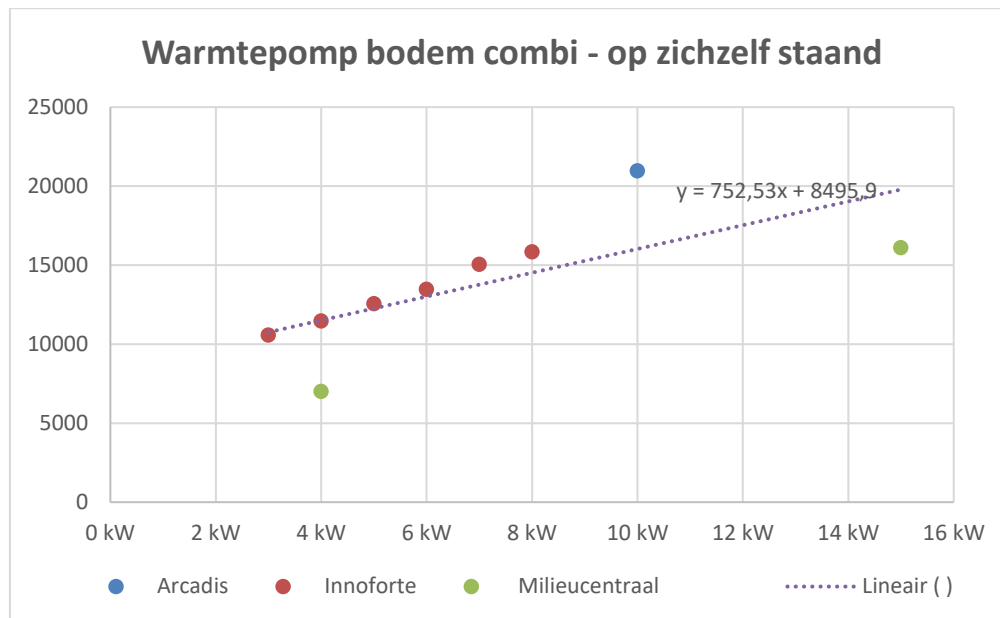
Datum
3 juni 2019



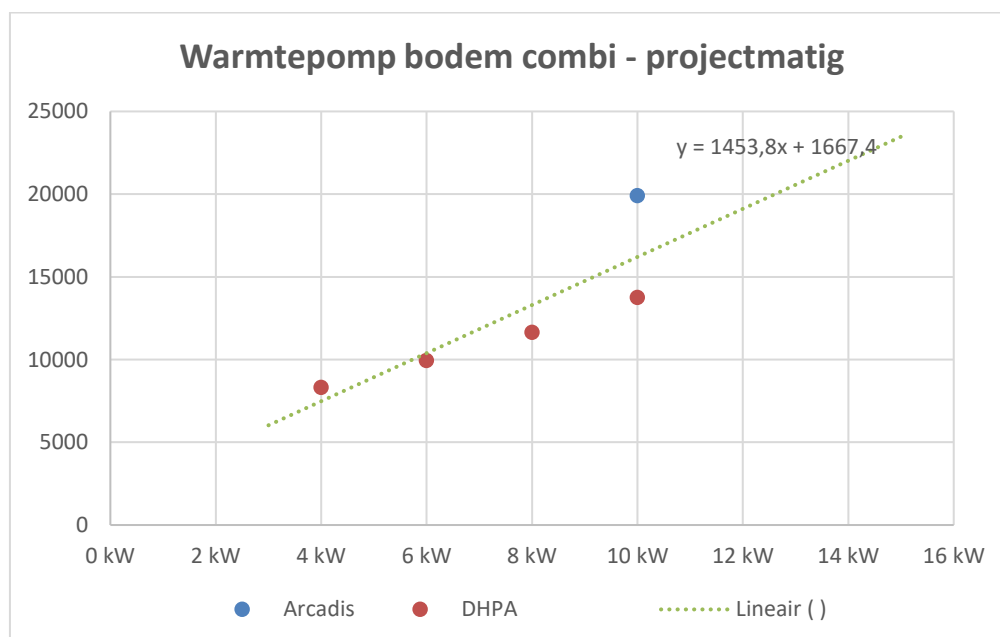
De prijs van een lucht/waterwarmtepompcombi bij een op zichzelf staande investering kan goed worden benaderd met de formule: € $[4.637 + 500 \times \text{vermogen (kW)}]$. De maximale spreiding rond deze trendlijn is 24%.



De prijs van een lucht/waterwarmtepompcombi bij een op zichzelf staande investering kan, op basis van twee bronnen, goed worden benaderd met de formule € $[5.359 + 320 \times \text{vermogen (kW)}]$. De maximale spreiding rond deze trendlijn is 2%.



De prijzen voor een grond/waterwarmtepompcombi bij een op zichzelf staande investering lopen uiteen. Een gemiddelde wordt gegeven door de formule € $[8.460 + 573 \times \text{vermogen (kW)}]$. Ongeveer 40% van de investering betreft de grondboring. De maximale spreiding rond deze trendlijn is 39%.



De prijzen voor een grond/waterwarmtepompcombi bij een op zichzelf staande investering lopen uiteen. Een gemiddelde wordt gegeven door de formule € $[1.667 + 1.455 \times \text{vermogen (kW)}]$. Deze stijging lijkt echter te sterk en deze formule is in

de praktijk waarschijnlijk niet accuraat; beter lijkt het om de formule € $[4.628 + 899 \times \text{vermogen (kW)}]$ aan te houden, gebaseerd op één bron.

Datum
3 juni 2019