Conversietechnieken in Vesta MAIS

Toelichting bij validatiesessie

CE Delft

Committed to the Environment

Conversietechnieken in Vesta MAIS

Toelichting bij validatiesessie

Delft, CE Delft, 4 april 2019

Deze notitie is opgesteld door: Emma Koster, Katja Kruit

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 Validatiesessie conversietechnieken

In deze validatiesessie zullen we de kengetallen bespreken over de conversietechnieken in het gebouw, zoals warmtepompen, HR-ketels en andere verwarmingstoestellen. Hiervoor zullen we een aantal specifieke cases presenteren met de bijbehorende prestaties en kosten.

In de validatiesessie wordt gewerkt met een spreadsheet met kengetallen en een voorbeeldberekening. Dit document dient als toelichting daarop, het bevat toelichting op de validatiesessie en een korte technische beschrijving. Daarnaast wordt het functioneel ontwerp 3.0 gedeeld met aanvullende technische beschrijvingen. Vesta is nog in ontwikkeling. De kengetallen en berekeningswijzen in de spreadsheet zijn de laatste stand van zaken en kunnen afwijken van de beschrijving in functioneel ontwerp 3.0. In deze validatieronde wordt gekeken naar de waarden in de spreadsheet.

1.1 Gekozen technieken

In de sessie zal gekeken worden naar de vier technieken die terug komen in de strategieën uit de leidraad. Daaraan worden de biomassaketel en infraroodpanelen toegevoegd. Deze technieken zitten momenteel in geen van de strategieën, maar ze worden overwogen voor de vervolganalyse van PBL in maart. De te valideren technieken staan in Tabel 1. In sectie 2.2 wordt een korte technische toelichting gegeven op de kengetallen en berekeningswijze voor elk van deze conversietechnieken.

Alle technieken behalve de infraroodpanelen leveren zowel ruimteverwarming als warm tapwater. Deze functionaliteiten zijn beide onderdeel van de validatie. Voor infraroodpanelen wordt enkel gekeken naar de ruimteverwarming. In de validatiesessie wordt niet gekeken naar koeling of opwek van elektriciteit.

Overigens betekent dit niet dat informatie en bronnen over de andere technieken niet welkom zijn. Deze kunnen schriftelijk worden toegezonden.

Tabel 1. Conversietechnieken in de validatieronde

Conversietechniek	Onderdeel van strategie
Elektrische luchtwarmtepomp	S1A
Elektrische bodemwarmtepomp	S1B
Hybride buitenluchtwarmtepomp	S4
HR-ketel	S5
Biomassaketel	-
IR-panelen	-

1.2 Voorbeeldcases

De sessie richt zich dus op individuele conversietechnieken. Er is gekozen om deze te valideren door middel van voorbeelden. Hierin worden de jaarlijkse kosten voor het gebruik van de conversietechniek berekend voor voorbeeldwoningen. Deze woningen hebben een gebruiksoppervlak van 100 m^2 en energielabel A of B.

Voor utiliteit worden de investeringskosten berekend op basis van het gebruiksoppervlak.

1.3 Kader validatiesessie

Voor het berekenen van de voorbeeldcases wordt gebruikt gemaakt van energieprijzen en invoerwaarden voor de warmtevraag van de woningen. In de validatiesessie wordt gerekend met de energieprijzen van 2015 (NEV 2017). De invoerwaarden komen uit de generieke invoerbestanden van Vesta MAIS. Deze waarden zijn geen onderdeel van de huidige validatiesessie.

In Vesta MAIS wordt ook gekeken naar isolatiekosten, kosten van afgiftesystemen en distributiekosten. Aangezien in deze notitie wordt gekeken naar conversietechnieken, worden deze kosten hier volledig buiten beschouwing gelaten.

2 Technische toelichting op modellering

2.1 Kostenberekening

Vesta MAIS berekent de jaarlijkse kosten van een conversietechniek. Gecombineerd met de kosten voor transport en distributie en gebouwmaatregelen, zoals isolatie en afgiftesysteem, geven ze de totale maatschappelijke kosten voor een verwarmingstechniek. Zo kunnen individuele en collectieve warmtetechnieken met elkaar vergeleken worden.

Hier wordt enkel gekeken naar de jaarlijkse kosten van de conversietechniek. Deze worden voor elke techniek op gelijke wijze berekend:

$$JK = JIK + JVK + JOK$$

Hierin zijn *JK* de jaarlijkse kosten, *JIK* de jaarlijkse investeringskosten, *JVK* de jaarlijkse variabele kosten en *JOK* de jaarlijkse onderhoudskosten. Alle kosten worden berekend in euro's en exclusief BTW.

Jaarlijkse investeringskosten (kapitaallasten)

De investeringskosten voor woningen hebben een vast en een variabel gedeelte. Het variabele gedeelte hangt af van de benodigde warmtecapaciteit. Voor een aantal warmtetechnieken zijn de kostencomponenten bepaald met een regressie gedaan op de investeringskosten van apparaten met verschillende vermogens. Voor andere technieken is geen afhankelijkheid berekend. Het variabele gedeelte is dan nul.

De jaarlijkse investeringskosten (oftewel kapitaallasten) worden berekend aan de hand van de aanschaf- en installatiekosten. Deze worden verdisconteerd over de verwachte levensduur van de verwarmingsinstallatie.

$$JIK = \frac{IK}{(1+t)^n}$$

Hierin zijn *IK* de investeringskosten (euro), is *t* de discontovoet en is *n* de afschrijftermijn (jaar).

Wanneer meerdere technieken worden gecombineerd, zoals een aparte techniek voor ruimteverwarming en warm tapwaters, of een add-on van zonnepanelen, worden de jaarlijkse investeringskosten voor elk van de componenten afzonderlijk berekend en vervolgens gesommeerd.

Jaarlijkse variabele kosten

De jaarlijkse variabele kosten betreffen de energiekosten voor het voldoen aan de warmte- en eventuele koudevraag. Ook kan in Vesta MAIS gekozen worden voor het opwekken en terugleveren van elektriciteit. Ook wordt gekeken naar de hulpenergie, die nodig is voor de verwarmingstechniek, onafhankelijk van het gebruik. De hulpenergie wordt onafhankelijk van de conversietechniek verondersteld. De waarden zijn te vinden in Tabel 2. In de validatiesessie wordt enkel gekeken naar ruimteverwarming, warm tapwater en de hulpenergie.

Voor elk van de technieken wordt de energievraag (*EV*) per energiedrager berekend en vermenigvuldigd met de energieprijs (*P*) van het zichtjaar.

$$JVK = EV_{aardgas} \cdot P_{aardgas} + EV_{groengas} \cdot P_{groengas} + EV_{elektriciteit} \cdot P_{elektriciteit} + EV_{waterstof} \cdot P_{waterstof} + EV_{biomassa} \cdot P_{biomassa}$$

Tabel 2. Hulpenergie van de conversietechnieken. Op basis van het rapport "Verbetering referentiebeeld utiliteitssector", Sipma, ECN 2014.

Gebouwtype	Energievraag hulpenergie (GJ/m2/jaar)
Woning	0,01
Bijeenkomst	0,019
Cel	0,019
Gezondheidszorg	0,016
Kantoor	0,007
Logies	0,019
Onderwijs	0,009
Sport	0,042
Winkels	0,01

Jaarlijkse onderhoudskosten

Voor het veilig en efficiënt functioneren van de verwarmingstechnieken is regelmatig onderhoud of inspectie nodig. De onderhoudskosten voor de technieken voor ruimteverwarming (*RV)* en tapwater (*TW*) en indien van toepassing eventuele overige technieken worden gesommeerd.

$$JOK = JOK_{RV} + JOK_{TW} + \cdots$$

2.2 Technieken

Hieronder wordt een korte beschrijving gegeven van de technieken die zijn opgenomen in de validatiesessie.

Elektrische luchtwarmtepomp

Een elektrische luchtwarmtepomp gebruikt energie uit de lucht die met behulp van elektriciteit wordt opgewaardeerd voor de ruimteverwarming en eventueel het tapwater. De kostenkengetallen zijn te vinden in Tabel 3. De investeringskosten zijn bepaald aan de hand van een regressie op basis van een regressie van de ISDE subsidiebedragen van lucht-water warmtepompen[1], uitgaande dat de subsidie 35% van de aanschafprijs dekt.

[1] https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/12/2018%20ISDE%20apparatenlijst%20warmtepompen%2020-12-2018.pdf

De SPF van de warmtepomp is afhankelijk van het isolatieniveau van de woning. In Tabel 4 zijn de waarden te vinden die worden gebruikt bij de schillabels A tot en met C en utiliteit. Deze verwarmingstechniek wordt niet toegepast bij woningen met label D of slechter.

De investeringskosten en rendement/verliezen zijn inclusief buffervat.

Tabel 3. Kengetallen elektrische luchtwarmtepomp

Kengetal	rekenwaarde	eenheid	bron
investeringskosten woningen - vaste component	€ 3.651,90	€/woning	
investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	€ 280,84	€/kW	
investeringskosten utiliteiten	€ 1.925,00	euro/kW	TNO factsheet
afschrijftermijn	15,00	jaar	warmtetechnieken.nl
Onderhoudskosten	50,00	€/jaar	warmtetechnieken.nl
Onderhoudspercentage	2%	% van investering	
Schaalvoordeel bij blokverwarming	34%		n.t.b.
Voordeel bij projectmatig	4%		

Tabel 4. Seasonal performance indicator elektrische luchtwarmtepomp

Kengetal	Afgiftesysteem	SPF	Bron
Rendement ruimteverwarming: energielabel C (η_RV,C)	LT-radiatoren (55ºC)	350%	Inschatting CE Delft
Rendement ruimteverwarming: energielabel B (η_RV,B)	LT-radiatoren (45ºC)	400%	Notitie Business Development Holland voor CE Delft. CEGOIA: 370%.
Rendement ruimteverwarming: energielabel A (η_RV,A)	LT-radiatoren (35ºC)	450%	Business Development Holland
Utiliteit		310%	Energy Technology Reference Indicator projections for 2010-2050 (2014), Carlsson

Elektrische bodemwarmtepomp

Een elektrische bodemwarmtepomp gebruikt energie uit de bodem, die met behulp van elektriciteit wordt opgewaardeerd voor de ruimteverwarming en eventueel het tapwater. De kengetallen zijn te vinden in Tabel 5. Kengetallen elektrische bodemwarmtepomp.

De bodemwarmtepomp bestaat uit twee onderdelen, de warmtepomp en de bodemwarmtewisselaar. De laatste heeft een afschrijftermijn van 30 jaar, twee keer zo lang als de warmtepomp. De kosten van de warmtewisselaar moet daarom over 30 jaar afgeschreven worden. Het is niet bekend welk gedeelte van de investeringskosten voor de aanschaf en installatie van de bodemwarmtewisselaar is, daarom wordt het gehele bedrag afgeschreven over 15 jaar.

De SPF van de warmtepomp is afhankelijk van het isolatieniveau van de woning. In Tabel 6. Seasonal performance indicator elektrische bodemwarmtepomp zijn de waarden te vinden die worden gebruikt bij de schillabels A tot en met C en utiliteit. Deze verwarmingstechniek wordt niet toegepast bij woningen met label D of slechter.
De investeringskosten en rendement/verliezen zijn inclusief buffervat.

Tabel 5. Kengetallen elektrische bodemwarmtepomp

Kengetal	rekenwaarde	eenheid	bron
investeringskosten woningen - vaste component	€8.826,00	€/woning	Kosteninformatie Cobouw
investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	€65,00	€/kW	Kosteninformatie Cobouw
investeringskosten utiliteiten	€203,07	euro/kW	Kostenkentallen tbv BENG
Percentage investeringskosten voor bodemwarmtewisselaar	?	%	-
Afschrijftermijn warmtepomp	15	jaar	warmtetechnieken.nl
Afschrijftermijn bodemwarmtewisselaar	30	jaar	warmtetechnieken.nl
Onderhoudskosten	50,00	€/jaar	warmtetechnieken.nl
Onderhoudspercentage	2%	% van investering	
Schaalvoordeel bij blokverwarming	34%		n.t.b.
Voordeel bij projectmatig	4%		

Tabel 6. Seasonal performance indicator elektrische bodemwarmtepomp

Kengetal	Afgiftesysteem	SPF	Bron
Rendement ruimteverwarming: energielabel C (η_RV,C)	LT-radiatoren (55ºC)	400%	Inschatting CE Delft
Rendement ruimteverwarming: energielabel B (η_RV,B)	LT-radiatoren (45ºC)	450%	Inschatting CE Delft
Rendement ruimteverwarming: energielabel A (η_RV,A)	LT-radiatoren (35ºC)	500%	Inschatting CE Delft
Utiliteit	?	360%	Energy Technology Reference Indicator projections for 2010-2050 (2014), Carlsson

Hybride buitenluchtwarmtepomp

De hybride warmtepomp combineert een elektrische warmtepomp met de HR-ketel op gas. De elektrische warmtepomp kan ongeveer voor de helft van de warmtevraag zorgen. De warmtepomp gebruikt de warmte uit de buitenlucht, die met behulp van elektriciteit wordt opgewaardeerd voor de ruimteverwarming.

De kengetallen van de hybride buitenluchtwarmtepomp zijn te vinden in Tabel 7.

De investeringskosten zijn afhankelijk van het elektrisch vermogen van de warmtepomp. Dit is echter niet gelijk aan de benodigde warmtecapaciteit, omdat een groot deel van het piekvermogen wordt geleverd door de HR-ketel. De dimensionering van vermogen van de warmtepomp wordt gedaan op basis van de NEN7120.

- *Bepalen vermogen warmteafgiftesysteem:* De NEN7120 geeft aan dat er gerekend moet worden met een factor 4 tussen de warmtevraag Q en het elektrische vermogen van het warmteafgiftesysteem (Formule 14.30).
- *Bepalen vermogen warmtepomp:* Het vermogen van het warmteopwektoestel is een factor β van het vermogen van het warmteafgiftesysteem. Tabel 14.9 uit NEN7120 geeft de verhouding aan tussen opwekvermogen en de dekking van de warmtevraag; hieruit volgt dat 85% van de warmtevraag met de elektrische warmtepomp wordt ingevuld bij een factor β van 40%.

Het benodigde vermogen $P_{elektrisch}$ is dan dus

$$P_{elektrisch}\ [\mathrm{kW}] = \beta \cdot \frac{Q\ [\mathrm{GJ}]}{4} = 40\% \cdot \frac{Q\ [\mathrm{GJ}]}{4}$$

De seasonal performance factor van ruimteverwarming is afhankelijk van de isolatie van het gebouw. Ook is het gedeelte van de warmtevraag dat wordt geleverd door de elektrische warmtepomp afhankelijk van de isolatie. Dit is te zien in Tabel 8. Het warme tapwater wordt volledig geleverd door de HR-ketel.

Tabel 7. Kengetallen hybride buitenluchtwarmtepomp

Kengetal	rekenwaarde	eenheid	bron
investeringskosten woningen - vaste component		€/woning	
investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	€1.650,00	€/kW_E	TNO factsheet
investeringskosten utiliteiten	€1.650,00	€/kW_E	TNO factsheet
Dimensionering warmtepomp (warmtevraag / afgiftevermogen)	4	GJ_th/kW	NEN7120
Vermogen warmteopweksysteem t.o.v. warmteafgiftesysteem	40%		NEN7120
afschrijftermijn	15	jaar	warmtetechnieken.nl
Onderhoudskosten	150	€/jaar	warmtetechnieken.nl

Onderhoudspercentage	2%	% van investering	Inschatting CE Delft
Schaalvoordeel bij blokverwarming	0%	%	n.t.b.
Voordeel bij projectmatig	3%		Arcadis (Energiebesparingsverkenner)
Rendement TW	72%		Warmtetechnieken.nl

Tabel 8. Fractie van de ruimteverwarming die elektrisch wordt verzorgd en seasonal performance factor van de elektrische ruimteverwarming. Bron: Inschatting CE Delft.

Woning/utiliteit	Schil	Fractie ruimteverwarming
elektrisch	SPF elektrische ruimteverwarming	
woning	A	0,52
woning	B	0,49
woning	C	0,47
woning	D	0,45
woning	E	0,42
woning	F	0,4
woning	G	0,38
utiliteit	Zeer goed	0,52
utiliteit	Goed	0,49
utiliteit	Huidig	0,38

HR-ketel

Een hoogrendement-combiketel of HR-combiketel is een warmtetechniek voor de productie van ruimteverwarming en warm tapwater. De HR-combiketel verwarmt water door aardgas of groen gas te verbranden.

Er wordt gerekend met de onderwaarde van de verbrandingswaarde van gas.

Tabel 9. Kengetallen HR-ketel

Kengetal	rekenwaarde	eenheid	bron
investeringskosten woningen - vaste component	€ 1.859,50	€/woning	warmtetechnieken.nl
investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	0,00	€/kW	
investeringskosten utiliteiten	5,73	euro/m2 GO	Arcadis UBOUW
afschrijftermijn	15	jaar	warmtetechnieken.nl
Onderhoudskosten	€ 37,19	€/jaar	
Onderhoudspercentage	2%	% van investering	CEGOIA
Schaalvoordeel bij blokverwarming	0%	%	
Voordeel bij projectmatig	4%	% van investering	Arcadis
Rendement RV	104%		warmtetechnieken.nl
Rendement TW	72%		warmtetechnieken.nl

Biomassaketel

Een CV-ketel op biomassapellets (pelletketel CV) is een hernieuwbaar alternatief voor de HR-ketel op aardgas. De pelletketel verbrandt houtpellets met een hoog rendement.
De kengetallen zijn te vinden in Tabel 10.

Tabel 10. Kengetallen biomassaketel

Kengetal	rekenwaarde	eenheid	bron
investeringskosten woningen - vaste component	€ 17.716,15	€/woning	Arcadis Energiebesparingsverkenner
investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	0	€/kW	
investeringskosten utiliteiten	€40,90	€/m2 GO	Kostenkentallen tbv BENG
afschrijftermijn	15	jaar	gelijk aan andere technieken
Onderhoudskosten	€ 885,81	€/jaar	
Onderhoudspercentage	0,05	% van investering	Inschatting CE Delft
Schaalvoordeel bij blokverwarming	0%	%	n.t.b.
Voordeel bij projectmatig	0%		Gemiddelde Arcadis Energiebesparingsverkenner
Rendement RV	98%		warmtetechnieken.nl
Rendement TW	90%		warmtetechnieken.nl

Infraroodpanelen

Infraroodpanelen (IR-panelen) zetten elektriciteit om in stralingswarmte. Anders dan een cv-systeem met radiatoren, verwarmen de panelen niet de lucht, maar de objecten (en personen) die in het stralingsbereik staan.

De kengetallen voor infraroodpanelen zijn te vinden in Tabel 11.

Doordat infraroodpanelen direct voor een warm gevoel zorgen en de lucht niet verwarmd wordt, daalt de warmtevraag. Er wordt gerekend met een reductie van 50%.

Infraroodpanelen leveren geen warm tapwater. De standaard combinatietechniek is een elektrische boiler.

Tabel 11. Kengetallen Infraroodpanelen

Kengetal	rekenwaarde	eenheid	bron
investeringskosten woningen - vaste component	0	€/woning	Nieman, Verkenning tool aardgasvrije bestaande woningen
investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	€ 743,80	€/kW_IR-panelen	Nieman, Verkenning tool aardgasvrije bestaande woningen

investeringskosten utiliteiten	€ 743,80	€/kW_IR-panelen	Nieman, Verkenning tool aardgasvrije bestaande woningen
afschrijftermijn	15	jaar	inschatting CE Delft
Onderhoudskosten	0	€/jaar	warmtetechnieken.nl
Onderhoudspercentage	0%	% van investering	inschatting CE Delft
Schaalvoordeel bij blokverwarming	n.v.t.	%	
Voordeel bij projectmatig	n.t.b.		-
Rendement RV	100%		warmtetechnieken.nl

2.3 Relatie Aansluitwaarde en netverzwaring

De elektrische warmtepompen, hybride warmtepomp en infraroodpanelen hebben een additionele elektrische capaciteitsvraag. Deze kan leiden tot benodigde netverzwaring. Deze additionele capaciteitsvraag is afhankelijk van het elektrisch vermogen van het apparaat en het rendement. Ook de gelijktijdigheid van de warmtevraag en de additionele vermogensvraag van elektrisch koken zijn van belang.

Techniek	Bepaling additionele netverzwaring
Elektrische luchtwarmtepomp	$P_{el,additioneel} = ASW/\eta_{E,RV} * y + P_{koken}$
Elektrische bodemwarmtepomp	$P_{el,additioneel} = ASW/\eta_{E,RV} * y + P_{koken}$
Hybride buitenluchtwarmtepomp	$P_{el,additioneel} = (ASW/DIM_{WP}) / \eta_{E,RV} * y + P_{koken}$
Infraroodpanelen	$P_{el,additioneel} = (ASW/DIM_{ir}) / \eta_{E,RV} * y + P_{koken}$

Hierbij is:

- y = gelijktijdigheid van de warmtevraag = 50%
- P_koken = gelijktijdige vermogensvraag van elektrisch koken = 0,5 kW (bron: uitvraag bij Stedin).