

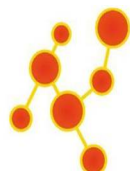
Ontwerphandleiding Zeer Lage- Temperatuur Prosumer Warmtenetten

TKI project DeZONNET




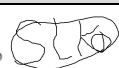



 enabling delta life

foto: Stichting SpaarGas (voorheen stichting DE Ramplaan)



Ontwerphandleiding Zeer Lage- Temperatuur Prosumer Warmtenetten

TKI Project DeZONNET, rapport D2.2

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1.0	sept. 2020	Sofie Kooreman Ivo Pothof Martin Bloemendal (TUD)	  	Sabine Jansen (TUD) Sam van der Zwan	 	Bas van Vossen	

Projectsamenvatting

Achtergrond

Veel (bestaande) woonwijken hebben te weinig duurzame (rest)warmtebronnen in de omgeving, en weinig ruimte voor duurzame opwekking. Daarnaast zijn ambitieuze isolatiemaatregelen voor veel woningtypen niet praktisch of niet financieel haalbaar. Een aardgasvrije warmtevoorziening voor dit type wijken is dus niet eenvoudig. Veel alternatieve warmtevoorzieningen voor dit type wijk vragen daardoor een grote input van hoogwaardige energiebronnen, in de vorm van elektriciteit of (bio)brandstoffen. De daarvoor benodigde duurzame energieopwekking legt een grotere druk op de benodigde fysieke ruimte voor wind en zon (Ollongren 2020). Door het ontwikkelen van energieconcepten met een minimale benodigde input van hoogwaardige bronnen kan een snellere verduurzaming en CO₂ reductie worden gerealiseerd, zonder de druk op materiaalgebruik en de fysieke ruimte te veel te verhogen.

Daarom is voor dit type wijk het 'ZONNET' of 'ZonneWarmteNet' concept ontwikkeld: dit is een lokaal, zeer lage temperatuur warmtenet dat wordt gevoed door warmte van PVT panelen op individuele daken i.c.m. seizoensopslag (WKO). Door de hoge efficiëntie van dit systeem en de combinatie van elektriciteit en warmteopwekking is het concept bij een beperkt aantal panelen al energieneutraal voor de warmtelevering. Door het realiseren van feed-in warmte van individuele PVT worden zeer efficiënte en duurzame lage temperatuur warmtenetten in bestaande woonwijken zonder externe warmtebronnen mogelijk.

Voor de uitwerking van dit concept is een subsidie toegekend door de topsector Energie. Binnen dit 'deZONNET' project zijn de technische regelingen en de benodigde aflever- en regelset ontwikkeld. Voor aanvang van dit project waren bijna alle onderdelen die voor dit systeem nodig zijn beschikbaar (PVT, warmtepomp, WKO en lage temperatuur netten). Het onderzoek heeft zich gericht op het ontwikkelen van de ontbrekende schakels, te weten:

- De operationele werking van het systeem voor het bereiken van de warmtebalans
- technische specificaties voor thermisch en hydraulisch ontwerp.
- De benodigde aflever- en regelset
- Een verkenning van de mogelijke marktmodellen

Dit document betreft Deliverable 2.2 van project en beschrijft de technische ontwerphandleiding voor dit ZLT feed-in warmtenet.

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Kenmerk: TEUE018017. Lage temperatuur feed-in zonnearmtenetten (deZONNET).

Het consortium bestaat uit TU Delft, Deltares, Greenvis, Triple solar, Fortes Energy Systems, ENGIE De WarmteTransitieMakers, en het Ramplaankwartier.

Overzicht resulterende rapportages en documenten

Het consortium heeft in deze studie de volgende serie documenten opgesteld, deze ontwerphandleiding is oranje gemarkeerd:

- D1.1 (intern document): overzicht eigenschappen systeemcomponenten voor energiesimulaties
- D1.2 (intern): dynamisch simulatiemodel met verschillende doorberekende varianten
- D1.3 (openbaar): rapportage met beschrijving van de diversie gesimuleerde varianten en uitwerking van de meest gunstige variant.
- D2.1 (intern): simulatiemodel inclusief basis ontwerp generieke casus
- **D2.2: (openbaar document) een ontwerphandleiding voor het technisch ontwerp van Zeer Lage-Temperatuur Warmtenetten, met aandacht voor vraag en aanbod profielen en mogelijke oplossingen voor het leveren van piekvermogen.**
- D3.1: (openbaar document): de volledig uitgewerkte technische specificaties van alle onderdelen van het 'DeZONNET' (het decentrale feed-in zonnewarmtenet)
- D3.2: Een demonstratie van de PVT/WP/afleverset en regeling in een of enkele woningen (WP2)
- D4.1 Algemene stakeholder analyse
- D4.2 Analyse resultaten uit vragenlijst/interviews bewonersparticipatie m.b.t. acceptatie van de nieuwe installaties en mogelijke participatiemodellen
- D5.1: Integrale en exploitatievorm-neutrale businesscase model voor een DeZONNET systeem
- D5.2: Overzicht van mogelijke marktmodellen voor de uitrol van het product, inclusief voor- en nadelen en randvoorwaarden en mogelijkheden voor buurtinitiatieven.
- D6.1 Uitgewerkte casus Ramplaankwartier Haarlem
- D6.2 Beknopte technische ten financiële haalbaarheidsstudie voor Duindorp Den Haag.
- D7.1 Overzicht disseminatieactiviteiten

Inhoudsopgave

Projectsamenvatting	2
Achtergrond	2
Overzicht resulterende rapportages en documenten.....	3
Figuren:	6
Lijst van gebruikte afkortingen:	6
1 Voorwoord	7
1.1 Introductie	7
1.2 Doel en scope	7
1.3 Leeswijzer	9
2 Het ontwerpen van ZLT-P-WN systemen.....	10
2.1 Achtergrondinformatie over warmtenetten	10
2.2 Opbouw van een ZLT-P-WN.....	11
2.3 Het ontwerpproces.....	11
2.3.1 Verbanden en volgordelijkheid stroomdiagram	11
2.4 Procesbrede ontwerpkeuzes in het voorontwerp.....	13
2.5 Voorbeeldcasus, het Ramplaankwartier.....	13
3 Ontwerp van woninginstallatie en afleverset.....	15
3.1 Definitie van een woninginstallatie en afleverset	15
3.2 Temperatuurniveaus bepalen	15
3.3 Bepaling piekvermogen	16
3.4 Bepaling energievraag	19
3.5 De PVT-panelen dimensioneren.....	19
3.6 Ontwerp van de overige thermische componenten	20
3.6.1 Warmtepomp.....	20
3.6.2 Buffervat	21
3.6.3 Warmtewisselaar	22
3.7 Ontwerp van het woninginstallatiecircuit	23
4 Ontwerp van bodemenergiesystemen	25
4.1 Wat is een open bodemenergiesysteem.....	25
4.2 De locatie van de bodemenergiebronnen.....	25
4.3 Benodigde opslagcapaciteit.....	26
4.4 Dimensionering van het OBES systeem.....	27
4.4.1 Boorgat, boorleiding en filters	27
4.5 Energievraag aan de bodem	28

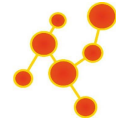
4.6	Ontwerp van het OBES-circuit	28
4.7	Bronontwerp en bronlocaties voor Ramplaankwartier.....	29
4.7.1	Bodemgeschiktheid.....	29
4.7.2	Bronontwerp	30
4.7.3	Bronlocatie	30
4.7.4	Aanlegkosten.....	31
4.8	Bron-rendement	31
4.8.1	Generieke simulaties voor verschillende bronclusters	32
4.8.2	Detail simulatie raamplan oost	32
5	Distributiecircuit ontwerp.....	34
5.1	Netwerkconfiguraties	34
5.2	Leidingontwerp.....	36
5.3	Thermische isolatie.....	37
6	Dynamische effecten	38
6.1	Inleiding	38
6.2	Aanpak dynamische analyse.....	38
6.3	Aandachtspunten grondwatersysteem	40
6.3.1	Acceptatiecriteria.....	40
6.3.2	Scenario's en typische oplossingen.....	40
6.4	Aandachtspunten ZLT-P-WN.....	41
6.4.1	Acceptatie-criteria.....	41
6.4.2	Scenario's en typische oplossingen.....	41
7	Ontwerp van regelsystemen.....	43
7.1	Definitie regeltoestanden.....	43
7.2	Definitie van de overgangen tussen regeltoestanden.....	44
7.3	Stabiliteit van regelingen	49
8	Review integraal systeemontwerp	55
8.1	Thermische onbalans.....	57
9	Oplevering van het ZLT-P-WN.....	58
9.1	Binneninstallatie	58
9.2	ZLT-P-WN	58
9.3	OBES en grondwatersysteem	58
10	Bronnenlijst.....	59
11	Appendices.....	61

Figuren:

Figuur 1-1: Schematische weergave van een ZLT-P-WN	9
Figuur 1-2 ontwerpfasen van een warmtenet, de blauwe blokken vallen in de scope van deze ontwerphandleiding	10
Figuur 2-1: Ontwikkeling van warmtenetten	11
Figuur 2-2: Nieuwe generaties warmtenetten	12
Figuur 2-3 Het ontwerpproces van een ZLT-P-WN	13
Figuur 2-4 Het Ramplaankwartier in Haarlem	15
Figuur 3-1: Ontwerpstappen voor de bepaling van het piekvermogen	19
Figuur 4-1: Open bodemenergie systeem (OBES)	26
Figuur 4-2. Concept voorstel bronlocaties	32
Figuur 4-3. Infiltratie en onttrekkingstemperatuur en debiet warmtebron. Links: alleen deelgebied oost, Recht: als alle bronnen zouden worden geclusterd als 1 bron	33
Figuur 4-4. Infiltratie en onttrekkingstemperatuur warme bron Ramplaankwartier, deelgebied oost.	34
Figuur 5-1: Twee veelvoorkomende netwerkstructuren	35
Figuur 5-2: Optimalisatie van een vermaasde netwerkstructuur, tot een Tichelmann ring	36
Figuur 6-1: Stappenplan voor dynamische analyse van leidingsystemen (Pothof & Karney, 2012) n	40
Figuur 7-1 Hydraulische weergave van een toestand B, een typische wintersituatie	44
Figuur 7-2 Overzicht van de gebruikte termen en symbolen voor de verschillende temperaturen en hydraulische componenten	46
Figuur 7-3: Grafische weergave van de overgangen tussen regeltoestanden	47
Figuur 7-4: Temperatuur(bereiken) in toestand B	48
Figuur 7-5: Schema voor simulatie van stabiliteitstoets. De doorgetrokken lijnen (zwart, rood, blauw) bevatten hydraulische componenten, leidingen en sensoren. De gestippelde lijnen zijn signaal-lijnen van sensoren naar regelblokken (regeltechnische functies) en van de regelblokken naar de actieve componenten (pompen en mengklep)	51
Figuur 7-6: Stabiliteitsscenario voor overgang van toestand E naar F. De rode lijn simuleert een stapsgewijze snelle daling in de warmtelevering. De groene lijn toont de warmtevraag van de warmtepomp, die na 800 s abrupt stopt, waarna alle warmtelevering vanuit de PVT-panelen aan het ZLT-netwerk geleverd wordt.	52
Figuur 7-7: PVT-temperatuurverloop tijdens scenario van toestand E naar F	53
Figuur 7-8: pomptoerentallen van PVT-pomp en netwerkpomp tijdens scenario E – F	54
Figuur 8-1: Iteraties in het integrale (detail)ontwerp	57

Lijst van gebruikte afkortingen:

COP	Coefficient Of Performance
OBES	Open BodemEnergieSysteem



	(soms wordt ook de term WKO gebruikt; het gaat hier om een open WKO)
ISSO	Instituut voor Studie en Stimulering Onderzoek
PVT	Photo Voltaic and Thermal
TEA	Thermische Energie uit Afvalwater
TED	Thermische Energie uit Drinkwater
TEO	Thermische Energie uit Oppervlaktewateren
TSA	TegenStroom Apparaat
ZLT-P-WN	Zeer Lage-Temperatuur Prosumer WarmteNet

1 Voorwoord

1.1 Introductie

Veel bestaande woongebieden hebben weinig duurzame (rest)warmtebronnen in de buurt en weinig ruimte voor duurzame energieopwekking. Verder zijn voor veel woningtypen verreichende isolatiemaatregelen niet altijd praktisch of financieel haalbaar. Een aardgasvrije warmtetoevoer voor dit type wijk is daarom niet eenvoudig (Jansen, Mohammadi, & van den Dobbelsteen).

Onderzoek in het Ramplaankwartier in Haarlem heeft aangetoond dat voor dit type wijk de meest duurzame oplossing bestaat uit een zeer lage temperatuur warmtenetwerk met een Open Bodemenergiesysteem (OBES), individuele warmtepompen en PVT panelen op het dak. De reden hiervoor is een optimale benutting van het beschikbare dakoppervlak, met maximale energieopbrengst per vierkante meter (Jansen, Mohammadi, & van den Dobbelsteen).

Met de PVT panelen kan regeneratie van de OBES worden gerealiseerd, wat nodig is in een wijk met overwegend woningbouw.

Het concept in deze ontwerphandleiding biedt een wijk brede oplossing, niet alle huizen in de wijk hebben een geschikt dak nodig om van zo een duurzaam warmtenet gebruik te kunnen maken. Dit concept is ook veelbelovend voor (bestaande) woonwijken met vergelijkbare kenmerken (naar schatting 1-3 miljoen woningen in Nederland).

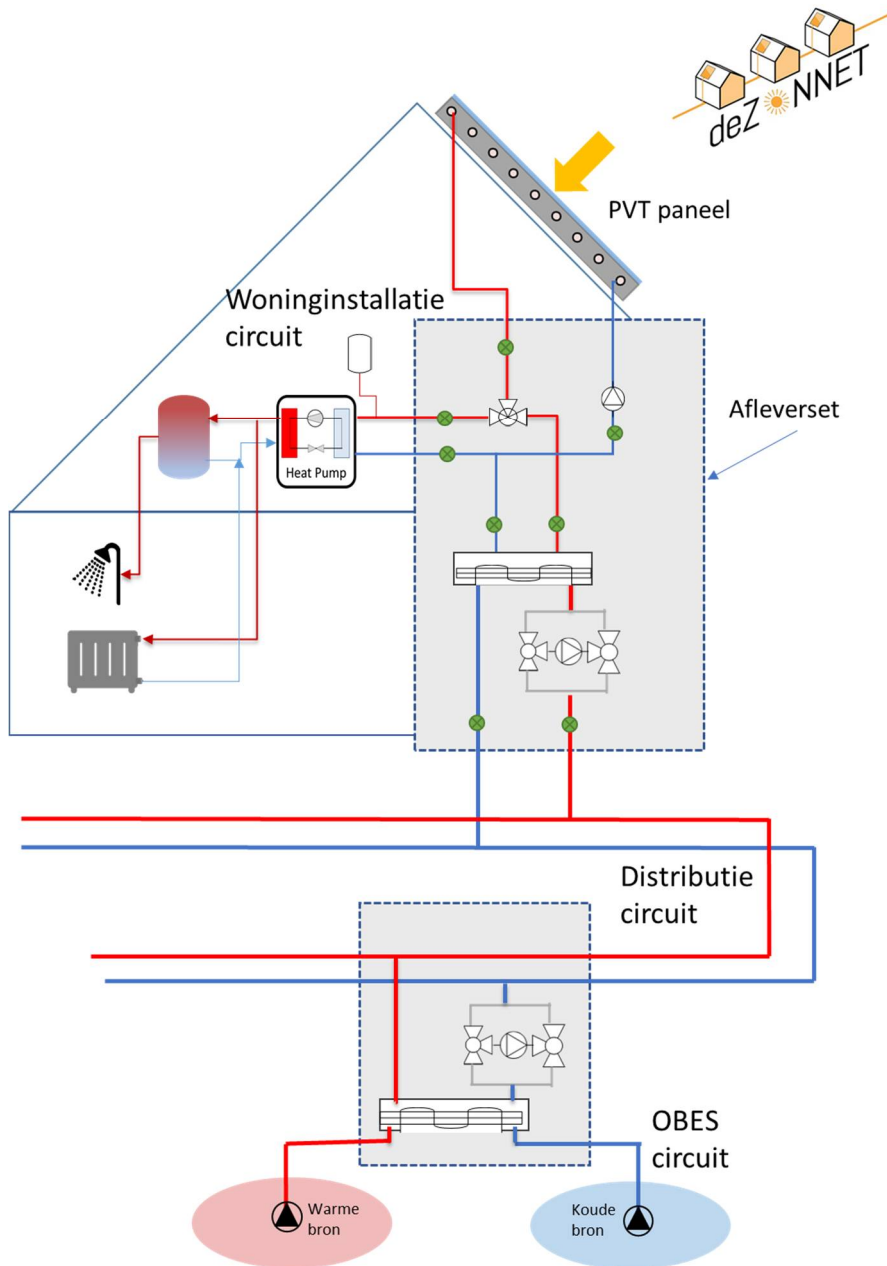
1.2 Doel en scope

Het doel van deze ontwerphandleiding is om elke partij te begeleiden die een zogenaamd 'ZLT-P-WN' of 'LT-P-WN' wil ontwerpen voor een nieuwe of bestaande wijk. '(Z)LT-P-WN' is een prosumer (P) warmtenet (WN) met Zeer Lage Temperatuur (ZLT) of Lage Temperatuur (LT). Een prosumernetwerk is een netwerk waar de huizen zowel als producent als verbruiker van warmte kunnen functioneren, voor ruimteverwarming, warm tapwater of andere functies (bijvoorbeeld tuinbouw / industrieel). De gedecentraliseerde (Z)LT-warmteproductie kan afkomstig zijn van zonnecollectoren, PVT-panelen, thermische energie uit oppervlaktewateren (TEO), thermische energie uit afvalwater (TEA), thermische energie uit drinkwater (TED) of industriële restwarmte (in een LT-industrieel netwerk).

Deze ontwerphandleiding geeft een overzicht van alle relevante technische specificaties en combineert deze tot een integraal en geoptimaliseerd ontwerp. Het behandelt het gedetailleerde ontwerp van (Z)LT-stadsverwarmingsnetwerken met een focus op thermo-hydraulische ontwerp- en regelsystemen, aangezien deze aspecten het duidelijkst afwijken van conventionele (HT) stadsverwarmingsnetwerken.

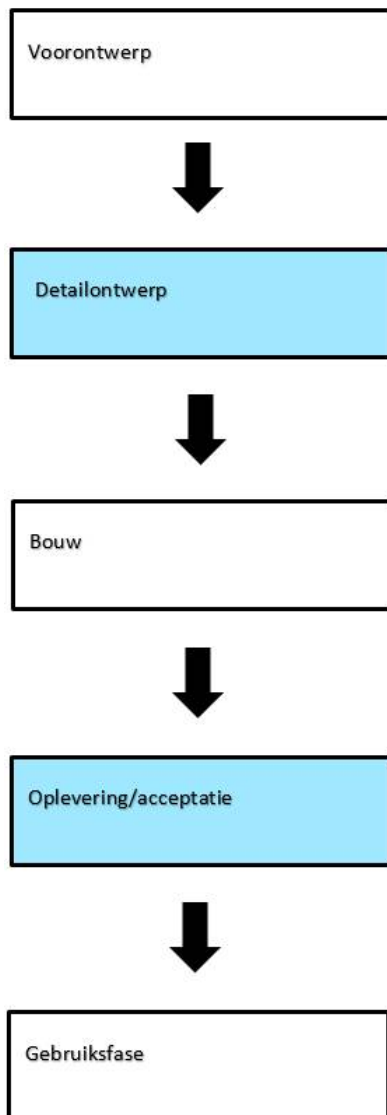
In het vervolg van deze handleiding gebruiken we de afkorting ZLT-P-WN voor ZLT-P-WN en voor LT-P-WN, behalve wanneer expliciet onderscheid gemaakt moet worden.

Een ZLT-P-WN bestaat uit een woninginstallatie, een distributienet en een OBES systeem, aangevuld met een regelsysteem. Zie Figuur 1-1. Voor een uitgebreide beschrijving van de onderdelen, zie paragraaf 2.2.



Figuur 1-1: Schematische weergave van een ZLT-P-WN

Deze ontwerphandleiding behandelt de interfacevereisten voor het gebouw, de externe warmtebronnen, het warmtenet en het OBES-systeem. De handleiding is voornamelijk gericht op het detailontwerp, zie de blauwe blokken in Figuur 1-2. Er wordt aangenomen dat het voorontwerp voor het grootste deel af is, hoewel nog wel enkele aandachtspunten genoemd worden. De nadruk van deze ontwerphandleiding ligt daardoor op het detailontwerp en de oplevering/acceptatie.



Figuur 1-2 ontwerpfasen van een warmtenet, de blauwe blokken vallen in de scope van deze ontwerphandleiding

Aan het einde van iedere paragraaf is een overzicht opgenomen van de uit te voeren bewerkingen binnen de behandelde ontwerpstep.

1.3 Leeswijzer

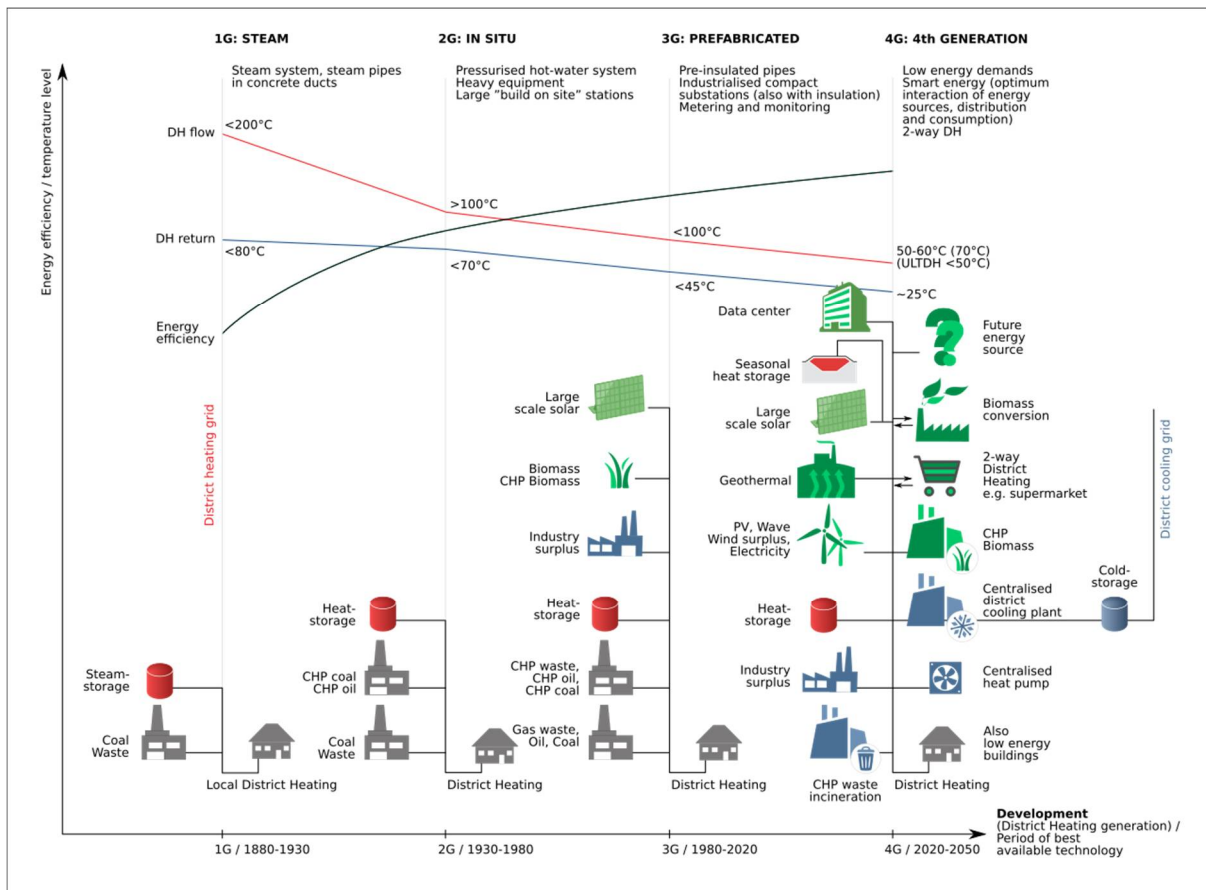
De samenhang tussen de verschillende onderdelen van een ZLT-P-WN en de onderlinge interactie zorgt ervoor dat het ontwerpproces niet eenmalig sequentieel doorlopen kan worden, maar dat verschillende iteraties nodig zijn. Hoofdstuk 2 t/m 7 richten zich op het ontwerpproces wat in hoofdstuk 8 nogmaals getoetst wordt. Hoofdstuk 9 gaat over de oplevering en acceptatiefase.

Hoofdstukken 3, 5 en 7 (woninginstallatie, distributiecircuit en regelsystemen) bevatten uitgewerkte ontwerpmethodes. De overige hoofdstukken zijn beknopter en bevatten verwijzingen naar bestaande literatuur.

2 Het ontwerpen van ZLT-P-WN systemen

2.1 Achtergrondinformatie over warmtenetten

Figuur 2-1 laat de ontwikkeling van warmtenetten tot nu toe zien. Voor meer informatie over de ontwikkeling van warmtenetten, zie (Lund, 2017).

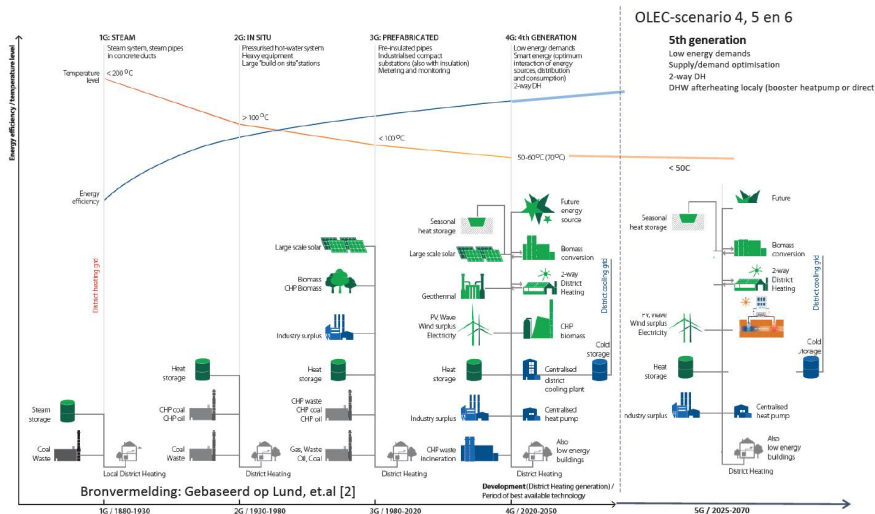


Figuur 2-1: Ontwikkeling van warmtenetten

In deze handleiding gaan we verder met de 5^e generatie warmtenetten, zoals onderzocht in het TKI-OLEC consortium (Willems, 2017).

In deze 5^e generatie warmtenetten, met aanvoertemperaturen van < 50°C, spreekt men van een Zeer Lage Temperatuur Warmtenet (ZLT-WN), zie Figuur 2-2.

Voordelen van ZLT warmtenetten, zijn onder andere minder energieverliezen en de mogelijkheid tot inzetten van LT-bronnen. Voor meer informatie over deze voordelen, zie (Olsen, 2014).



Figuur 2-2: Nieuwe generaties warmtenetten

2.2 Opbouw van een ZLT-P-WN

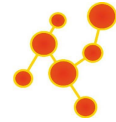
Zoals in beschreven in paragraaf 2.1, gaat deze ontwerphandleiding over warmtenetten (WN) met een Zeer Lage Temperatuur (ZLT). Daarnaast beschrijft het zogenaamde 'prosumer' (P) netwerken. Een prosumernetwerk is een netwerk waar de huizen zowel als producent als verbruiker van warmte kunnen functioneren. De warmte die de huizen produceren en dus invoeren in het netwerk, komen van de PVT-panels. Een ZLT-P-WN bestaat uit drie niveaus, zie Figuur 1-1.

1. Woninginstallatiecircuit
De afleverset, warmtepomp, afgiftesysteem, buffervat en één of meer lage temperatuur warmtebronnen lokaal bij het huis, in dit geval de PVT panelen. De afleverset bevat ook een decentrale circulatiepomp om warmte te onttrekken uit of te leveren aan het distributienet.
2. Distributiecircuit (warmtenet)
Aansluiting van de verschillende afleversets van alle woningen, een of meer lage temperatuur warmtebronnen die wel / niet in / op een huis zijn en de warmtewisselaar die het distributiecircuit verbonden met de OBES.
3. OBES (Open Bodemenergie Systeem) circuit
Voorheen het WKO (Warmte Koude Opslag) circuit. De warme – en koude bron en de warmtewisselaar die het OBES verbindt met het distributiecircuit. De OBES heeft ook circulatiepompen om warmte uit de bodem te leveren aan het distributienet of omgekeerd warmte op te slaan in de bodem

2.3 Het ontwerpproces

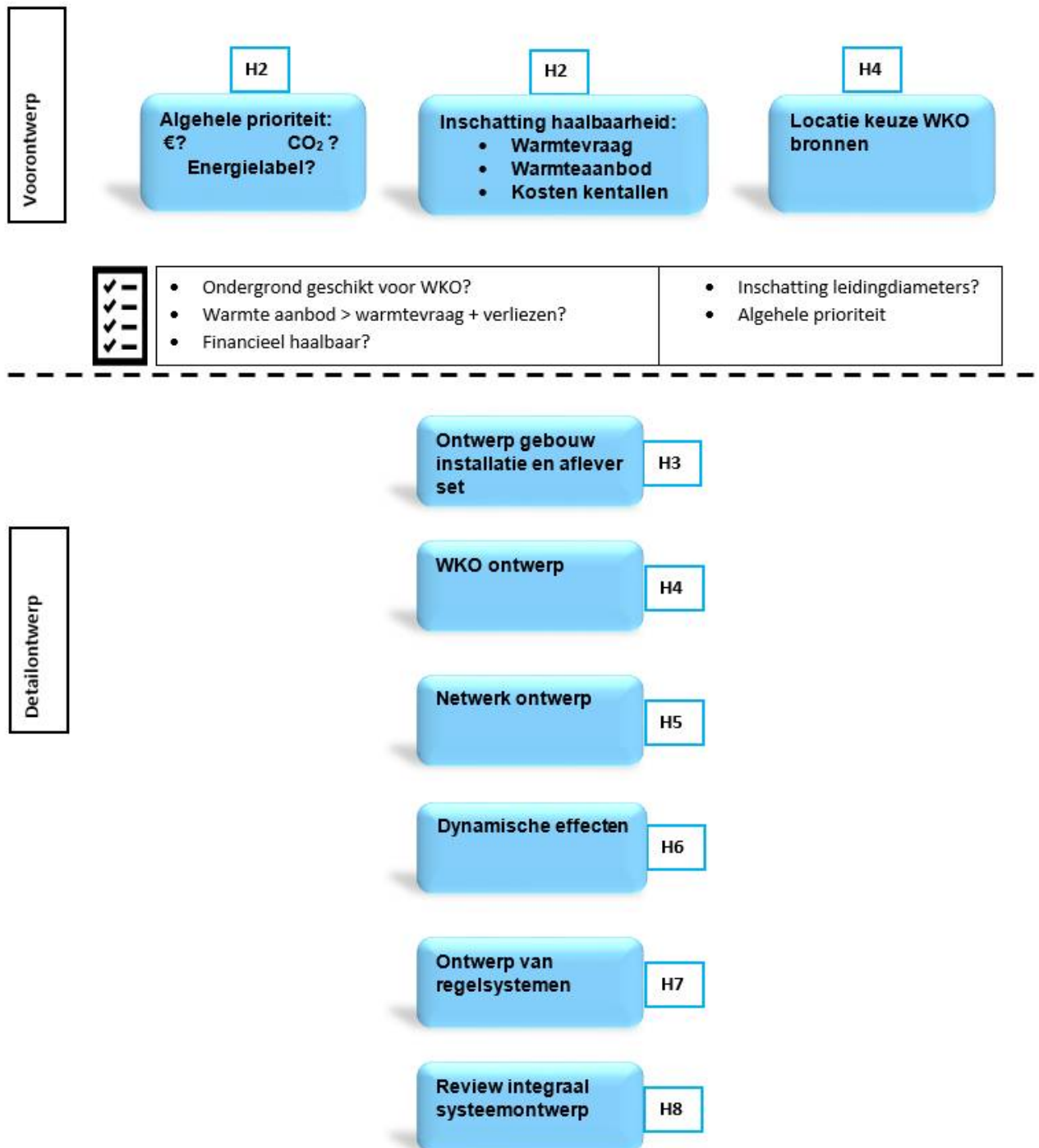
2.3.1 Verbanden en volgorde van stroomdiagram

Figuur 2-3 representeert het ontwerpproces van een ZLT-P-WN. Zoals benoemd in hoofdstuk 1.2, richt deze ontwerphandleiding zich voornamelijk op het detailontwerp.



Aan het eind van iedere paragraaf van deze ontwerphandleiding staat een checklist, van welke output gegenereerd moet zijn, voordat de ontwerper doorgaat naar de volgende stap.

De volgorde van de detail-ontwerpstappen is zodanig gekozen dat het proces zo lineair mogelijk te doorlopen is. In de praktijk zal vaak toch een (kleine) iteratie nodig zijn of zal het resulterende ontwerp op integrale wijze geëvalueerd moeten worden. Dit wordt beschreven in paragraaf 8.1.



Figuur 2-3 Het ontwerpproces van een ZLT-P-WN

2.4 Procesbrede ontwerpkeuzes in het voorontwerp

In het voorontwerp dient de ontwerper een drietal ontwerpstappen te zetten die invloed hebben op het gehele ontwerpproces.

De eerste is het vaststellen van de thermische haalbaarheid. Hierbij dient een inschatting per jaar gemaakt te worden van de warmtevraag plus de warmteverliezen; en van het warmteaanbod. De optelling van de warmtevraag en warmteverliezen dienen kleiner of gelijk te zijn aan het warmteaanbod.

$$\text{Warmtevraag} + \text{warmteverliezen} \leq \text{warmteaanbod}$$

De tweede is de financiële haalbaarheid. Een belangrijk onderdeel voor het kostenplaatje is een inschatting van de leidingdiameters, deze wordt behandeld in hoofdstuk 5. De verdere uitwerking van de financiële haalbaarheid valt buiten de scope van deze handleiding, deze wordt behandeld in deliverables D5.1 en D5.2.

Als derde is het nuttig om een keuze te maken voor een algehele prioriteitstelling van het ZLT-P-WN. Te kiezen uit:

- Energetische prestatie
- Terugverdientijd (Economic performance)
- Robuustheid van het systeem
- CO2 reductie
- ... voor meer informatie, zie (ISSO, ISSO-publicatie 107: Opleverprocedure klimaatinstallaties en de overdracht naar beheer, 2015) H6.1

Output voorontwerp	<ul style="list-style-type: none">• Vaststelling thermische haalbaarheid (warmtebalans) ✓• Vaststelling financiële haalbaarheid ✓• Algehele prioriteitstelling ✓
---------------------------	---

2.5 Voorbeeldcasus, het Ramplaankwartier

Ter beeldvorming voor de lezer van deze handleiding, is een voorbeeldcasus opgenomen.

Het Ramplaankwartier is een bestaande wijk in Haarlem, waar op het moment dat deze handleiding geschreven is een ZLT-P-WN met PVT panelen voor ontworpen wordt. Renovatie van alle huizen naar een label C of hoger staat op de planning en in het ontwerp wordt er dus vanuit gegaan dat alle woningen minimaal een C label hebben en met een afgiftetemperatuur van maximaal 55 graden verwarmd kunnen worden,



Figuur 2-4 Het Ramplaankwartier in Haarlem

3 Ontwerp van woninginstallatie en afleverset

3.1 Definitie van een woninginstallatie en afleverset

De woninginstallatie wordt gedefinieerd als het afgiftesysteem voor ruimteverwarming, een combi-warmtepomp voor zowel ruimteverwarming als tapwater, een tapwater boiler, een afleverset en een lokale warmtebron; in deze handleiding PVT-panelen.

Warm water stroomt van de afleverset naar de warmtepomp wanneer er warmtevraag is. Of koud water stroomt van de afleverset naar de warmtebron wanneer er koudevraag (ofwel warmteaanbod van het huis) is. Het water in dit circuit is vaak gemengd met glycol, of een ander antivries middel. Voor een grafische weergave van de woninginstallatie, zie Figuur 1-1.

3.2 Temperatuurniveaus bepalen

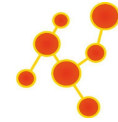
De eerste stap bij het ontwerpen van de woninginstallatie en de afleverset is het bepalen van de gewenste temperatuurniveaus in de woninginstallatie, distributieleidingen en OBES-leidingen.

Omdat in deze ontwerphandleiding wordt uitgegaan van energielabel C of hoger, wordt er van uitgegaan dat de aanvoertemperatuur naar de afgiftesystemen niet hoger hoeft te zijn dan 55°C. De ontwerpspecificaties van de warmtepomp en PVT panelen geven aan binnen welke temperatuurbereik zij optimaal functioneren. Daarnaast heeft de warme bron van een OBES een maximaal toegestane temperatuur. Voor de buffertank geldt dat de temperatuur periodiek naar 60°C opgevoerd moet worden, ter preventie van legionella (Yang, Li, & Svendsen, 2016).

De temperatuurniveaus worden gecorrigeerd voor het warmteverlies van de leidingen. Voor de stabiliteit van de regeling is het nuttig om een gewenste PVT-productie temperatuur en temperatuurverschillen tussen de warme – en koudeleiding van het woninginstallatie circuit en distributiecircuit zoveel mogelijk vast te zetten over de tijd. Hiervoor zijn verschillende redenen. Als het temperatuurverschil in de winter in het distributienet kleiner is dan de ontwerpwaarde doordat de woningen of het OBES systeem de pompen te hard laten draaien, dan kan het distributienet het ontwerpvermogen niet meer leveren. Ten tweede als de PVT temperatuur structureel hoger ligt dan de ontwerpwaarde, dan kunnen de PVT panelen onvoldoende warmte laden voor de winter.

Er wordt aangeraden deze berekeningen (door een expert) uit te (laten) voeren met behulp van gespecialiseerde rekensoftware.

Input	Bewerking	Output
<ul style="list-style-type: none">• Ontwerp-temperatuurbereik en vermogens van OBES, warmtepomp en PVT panelen• Isolatiewaarde leidingen• Maximale temperatuur OBES• Aanvoertemperatuur	<ul style="list-style-type: none">• Simulaties van de woninginstallatie draaien met alle specificaties en voorwaarden• Deze invoerwaarden kunnen conflicterend	<ul style="list-style-type: none">• Temperatuur setpoints in de woninginstallatie, distributieleidingen en OBES-leidingen



<ul style="list-style-type: none"> • Legionella preventie eisen 	<p>zijn, in dat geval wordt het resultaat een geoptimaliseerd compromis</p>	
--	---	--

3.3 Bepaling piekvermogen

Voor het piekvermogen op woningniveau in een ZLT-P-WN hebben we te maken met drie warmtestromen:

- Piekwarmtevraag in de winter
- Piekwarmtelevering vanuit PVT panelen in de zomer
- Warm tapwatervraag

Het piekvermogen voor de warmtevraag van een individuele woning wordt primair bepaald door woningeigenschappen zoals volume en oriëntatie (zoningstraling), door gebouwschileigenschappen zoals isolatie en door installaties zoals het afgiftesysteem, ventilatie, koeling, deellast specificaties en regelingen (Clarke, 2001). De maximale warmtevraag wordt bepaald op woningniveau bij een ontwerpconditie (bijvoorbeeld een daggemiddelde temperatuur van -7 °C. Daarnaast wordt dit piekvermogen bepaald door de keuze voor een piek-reducerende maatregel. De vier meest toegepaste maatregelen zijn:

- ‘Peak shaving’, hierbij wordt het piekvermogen gelimiteerd tot een bepaalde waarde. Dit kan betekenen dat woningen minder snel kunnen opwarmen dan gewenst.
- ‘Load shifting’, dit betekent dat pieken in een vermogenstijdreeks uitgesmeerd worden naar tijdstippen waarop minder vraag is. Voor het Ramplaankwartier is aangenomen dat de meeste vraag overdag optreedt en dan voornamelijk in de ochtend.
- Geen nachtverlaging toepassen, hierbij daalt de temperatuur in een woning minder gedurende de nacht, zodat er minder vermogen nodig is in de ochtend. In minder goed geïsoleerde huizen kan dit de totale energievraag doen stijgen
- Het toevoegen van een buffervat om de vraag naar tapwater te kunnen bufferen en de piekvraag voor warm tapwater te reduceren. In een ZLT-P-WN is een tapwaterbuffer altijd nodig.

Door dit piekvermogen van een woning te vermenigvuldigen met het aantal woningen in het betreffende cluster krijgt men een het piekvermogen van dat cluster. Een cluster is hier gedefinieerd als één OBES doublet plus alle woningen die hier op aangesloten zijn. Bij het berekenen van het piekvermogen voor het OBES dient de ontwerper rekening te houden met de zogenaamde gelijktijdigheidsfactor die representeert dat niet alle woningen tegelijkertijd hun piekvermogen aanroepen. Een kleinere gelijktijdigheidsfactor schept de mogelijkheid tot kleinere leidingdiameters, maar verhoogt ook het risico dat er niet genoeg thermisch vermogen beschikbaar is. Het niet toepassen van nachtverlaging resulteert in een lager piekvermogen per woning, maar een hogere gelijktijdigheidsfactor.

Voor gelijktijdigheidsfactor van ruimteverwarming (zonder piek-reducerende maatregelen) wordt doorgaans Tabel 3-1 gebruikt, 'f' is hier de gelijktijdigheidsfactor (ISSO, ISSO-publicatie 39: Energiecentrale met warmte- en koudeopslag (wko), 2017).

n	f
1 - 5	1,00
6 - 13	0,95
14 - 25	0,90
26 - 40	0,85
41 - 60	0,80
61 - 85	0,75
86 - 115	0,70
116 - 155	0,65
156 - 205	0,60
> 205	0,55

Tabel 3-1 Gelijktijdigheidsfactoren voor ruimteverwarming

De piekwarmtelevering door de PVT-panelen op woningniveau wordt bepaald door het aantal benodigde panelen, de uitstroom-temperatuur en de oriëntatie van de panelen. De methode om het aantal PVT-panelen te bepalen staat uitgewerkt in Deliverable 1.2 en de projectsamenvatting (Deliverable 7.2). Het 99% percentiel van de warmtelevering door de PVT-panelen is een geschikte ontwerpwaarde. Dat betekent dat we 88 uur per jaar uitschieters accepteren, wat betekent dat de geleverde PVT-temperatuur wat hoger zal zijn dan de ontwerpwaarde. We hanteren als uitgangspunt dat tijdens de PVT-pieklevering de woningen een verwaarloosbare warmtevraag hebben.

Voor de pieklevering aan het OBES-cluster wordt in eerste instantie een gelijktijdigheidsfactor van 1 gehanteerd, aangezien de zon in de gehele wijk even sterk schijnt. Als duidelijk is hoeveel panelen in de wijk op het Oosten en het Westen zijn georiënteerd, dan kan voor deze panelen een kleinere gelijktijdigheidsfactor toegepast worden. In de casus van het Ramplaankwartier bedragen de piekwarmtelevering van de gemiddelde woning en de piekwarmtevraag allebei 6 kW. Vanwege de hoge gelijktijdigheidsfactor voor de PVT-panelen is de zomer-situatie voor het cluster dus maatgevend.

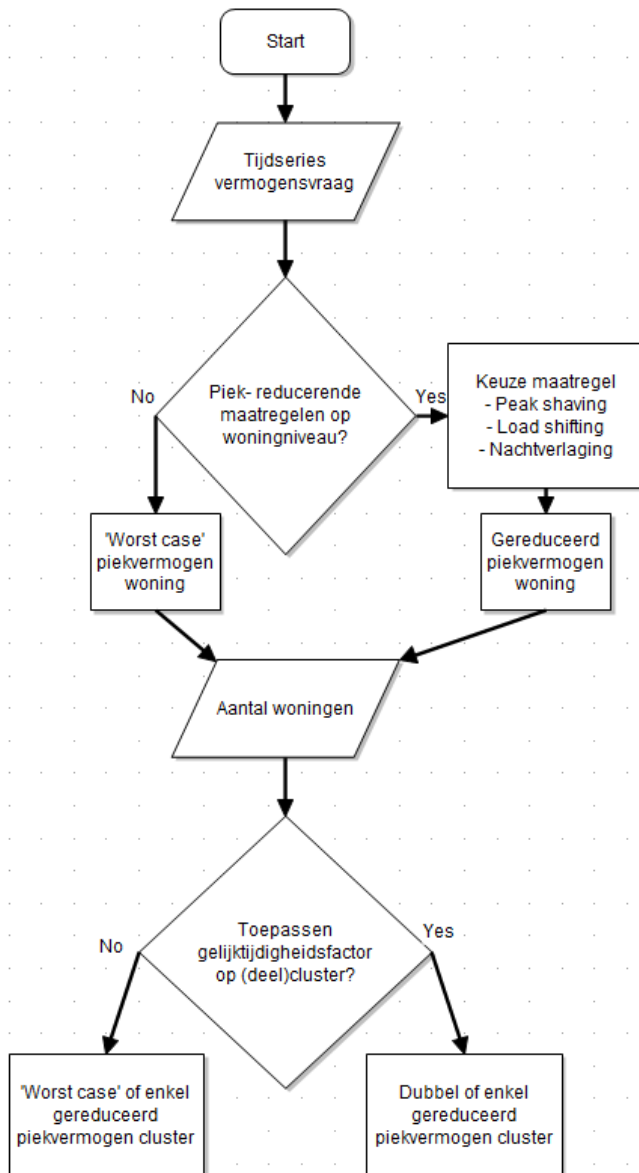
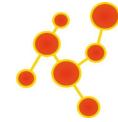
Met een tapwaterbuffer wordt een vaste aansluitwaarde per woning gehanteerd; 2 kW is hiervoor een gangbare aansluitwaarde. Een veelgebruikte formule voor de gelijktijdigheidsfactor voor tapwaterverbruik is de zogenaamde 'wortel-n' regel (ISSO, ISSO-publicatie 39: Energiecentrale met warmte- en koudeopslag (wko), 2017). Hierbij staat 'n' voor de hoeveelheid huizen in een cluster. De gelijktijdigheidsfactor voor tapwater wordt dan berekend door de vierkantswortel van 'n' nemen.

Input	Bewerking	Output
<ul style="list-style-type: none"> Piekreducerende maatregel Woning oriëntatie en installaties Eigenschappen gebouwschil 	<ul style="list-style-type: none"> Simulaties met transmissieberekeningen draaien met alle eigenschappen en maatregelen 	Piekvermogen per woning



<ul style="list-style-type: none"> • Tapwater verbruik 	<ul style="list-style-type: none"> • Optioneel: variëren van de piekreducerende maatregelen 	
<ul style="list-style-type: none"> • 	<ul style="list-style-type: none"> • Ruimteverwarming: tabel 3.2 ISSO 7 raadplegen • Tapwater: \sqrt{n} • met n = het aantal woningen 	Gelijktijdigheidsfactor(en)
Aantal woningen, piekvermogen per woning en gelijktijdigheidsfactor(en)	Aantal woningen * piekvermogen woning * gelijktijdigheidsfactor(en)	Piekvermogen per cluster

Figuur 3-1 geeft de bovenstaande ontwerpstappen weer.



Figuur 3-1: Ontwerpstappen voor de bepaling van het piekvermogen

3.4 Bepaling energievraag

Naast het piekvermogen dient ook de energievraag van een woning en cluster bepaald te worden. Gebruikelijk gebeurt dit over een periode van een jaar. De energievraag van een individuele woning wordt bepaald door veelal dezelfde woningeigenschappen als het piekvermogen. Bij de energievraag worden ook variaties van parameters over de tijd meegenomen, waar het bij het piekvermogen vooral gaat om extreme waarden gaat.

Rekensimulaties voor de energievraag kunnen bepaald worden met gespecialiseerde software.

Input	Bewerking	Output
<ul style="list-style-type: none"> Woning oriëntatie en installaties 	<ul style="list-style-type: none"> Rekensimulaties draaien met alle eigenschappen en invloeden 	Energievraag woning

<ul style="list-style-type: none"> Eigenschappen gebouwschil Tapwaterverbruik Weersinvloeden 	<ul style="list-style-type: none"> Inclusief het effect van seizoenen en dag/nacht 	
Aantal woningen	<ul style="list-style-type: none"> Aggregatie van de energievraag van alle woningen binnen het cluster 	Energievraag cluster

3.5 De PVT-panelen dimensioneren

In deze ontwerphandleiding wordt uitgegaan van het gebruik van PVT panelen als ZLT bron. Andere mogelijke (zeer) laagtemperatuur bronnen zijn; oppervlaktewater, afvalwater, drinkwater of energie die vrijkomt uit de industrie.

Een 'Photovoltaic' thermisch (PVT) paneel levert elektrische en thermische energie en kan gebruikt worden in combinatie met een warmtepomp. Het aantal benodigde panelen in een cluster moet voldoende zijn om de totale jaarlijkse energiebehoefte (de hoeveelheid warmte die per jaar geproduceerd dient te worden) van een cluster te genereren. De jaarlijkse energiebehoefte wordt gedefinieerd als:

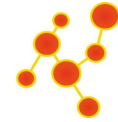
$$\text{Jaarlijkse warmtevraag (van de woningen) + warmteverliezen} \\ - \text{elektrische energie van de warmtepomp}$$

De jaarlijkse PVT-productie per paneel gedurende een standaard klimaat-jaar wordt bepaald door de oriëntatie en de uitstroomtemperatuur van het koelmiddel. Hoe hoger de uitstroom-temperatuur, des te lager is de jaarproductie. Daardoor zijn meer panelen nodig en wordt het beschikbare dakoppervlak een limiterende factor, net als de investeringskosten voor de PVT-panelen.

De setpoints voor de regelingen voor het gebruik van de PVT zijn zo bepaald dat op jaarbasis een balans wordt gehaald. Dit is uitgebreid beschreven in Deliverable 1.2 en het samenvattende eindrapport. (D7.2). Het koelmiddeldebiet van de PVT panelen kan gevarieerd worden om die PVT-ontwerp-temperatuur te behalen. De te behouden jaarlijkse balans in combinatie met het beschikbare dakoppervlak en de zoninstraling bepaalt het aantal panelen dat in een cluster gelegd moet worden.

Bij de huidige wettelijke eisen aan OBES mag de injectietemperatuur in de OBES niet hoger zijn dan 25 °C. Dit betekent dat de PVT-uitstroomtemperatuur niet hoger mag zijn dan 29 °C, omdat er over de warmtewisselaars van woningen en OBES nog 2 x 2 °C temperatuurverschil nodig is. Om nog enige marge te behouden voor de warmste 1% van de tijd, zal de ontwerp-uitstroomtemperatuur van de PVT-panelen 20 à 25 °C moeten bedragen.

Input	Bewerking	Output
PVT karakteristieken als functie van dakoriëntatie en afgiftetemperatuur	<ul style="list-style-type: none"> Rekensimulaties draaien Het aandeel van de PVT aan de warmtevraag en het beschikbare dakoppervlak zijn conflicterende 	Optimaal aantal PVT panelen



	parameters. Het resultaat is daartoe een geoptimaliseerd compromis	
--	--	--

3.6 Ontwerp van de overige thermische componenten

3.6.1 Warmtepomp

Warmtepompen (WP) kunnen worden gecategoriseerd op basis van het medium waaraan ze de warmte onttrekken en die warmte leveren. In een verwarmingssysteem dat thermische opslag in een OBES-systeem bevat, wordt een water / water-warmtepomp gebruikt. Andere soorten warmtepompen zijn de lucht / lucht-warmtepomp en de lucht / water-warmtepomp. (Keijzer, 2018).

In deze handleiding is dus gekozen voor een water-water warmtepomp. Thermische energie wordt onttrokken aan de verdamperkant en aan de condensorkant levert de WP warmte aan het woningcircuit.

Als eerste wordt het gewenste maximaal te leveren thermisch vermogen door de condensor vastgesteld. Hoe hoger dit vermogen, hoe meer vermogen onttrokken moet worden in de verdamper.

Daarna worden de verschillende gewenste maximale temperatuursprongen vastgesteld:

- Over de verdamper
- Over de condensor
- Over de gehele warmtepomp, het verschil tussen de temperatuur die aan de verdamperkant instroomt en aan de condensorkant uitstroomt

Hierbij wordt aangenomen dat de gewenste absolute temperaturen al zijn bepaald volgens paragraaf 3.2 en 3.4.

Voor energie efficiënte verwarming van een woning die geschikt is voor LT-verwarming, dient een temperatuursprong over de warmtepomp van 15 – 30 °C nagestreefd te worden (Gasser, et al., 2017). Voor een ZLT systeem kan een hogere temperatuursprong over de warmtepomp nodig zijn. In dat geval dient een warmtepomp gekozen te worden die deze hogere temperatuursprong aan kan zonder dat de COP te laag wordt. Dit stelt eisen aan het koudemiddelcircuit, de ‘motor’ van de warmtepomp.

Input	Bewerking	Output
<ul style="list-style-type: none"> • Gewenst maximaal vermogen • Gewenste temperatuursprongen over de verdamper, condensor en gehele warmtepomp • Gewenste absolute temperaturen aan condensor- en verdamperkant 	<ul style="list-style-type: none"> • Aan de hand van de technische specificaties warmtepompen identificeren die aan de gestelde criteria voldoen. Indien er meerdere beschikbaar zijn, diegene met het beste COP kiezen • Indien het aantal benodigde warmtepompen groot is, kan met een leverancier samengewerkt worden om 	Keuze warmtepomp

	een warmtepomp speciaal aan te passen (of te ontwikkelen)	
--	---	--

3.6.2 Buffervat

Bij het ontwerp van een buffervat, dient men rekening te houden met verschillende aspecten, zoals consumentencomfort, hygiëne (legionellabehandeling) en energie-efficiëntie. Om altijd water van de juiste temperatuur te kunnen leveren, dienen setpoint ingesteld te worden, als de temperatuur onder dit setpoint komt, dient er thermische energie toegevoegd te worden. De temperatuur wordt gemeten op een bepaalde locatie boven de bodem, typisch op 1/3 van het volume. (Schmidt & Kallert, 2017).

Een belangrijke ontwerpafweging voor het buffervat is voor welke doeleinden deze warm water gaat leveren:

- Ruimteverwarming
- Tapwater
- Beide
- Voorverwarmend voor beide, dus alleen om het te leveren vermogen van de WP te reduceren

Deze keuze is bepalend voor de hoeveelheid energie en vermogen die het buffervat moet kunnen leveren. Deze wordt gedicteerd door het maximum van het te leveren - en het op te nemen piekvermogen. Hieruit volgt het volume van het buffervat, de setpointtemperatuur en het vermogen van het elektrisch element. Ook wordt hier bij rekening gehouden dat een buffervat periodiek moet opwarmen voor legionellapreventie (meestal 60°C). Voor meer informatie, zie (Schmidt & Kallert, 2017, p. h4.4.2.).

Vuistregels voor buffervaten die ruimteverwarming en tapwater leveren: 100 liter per MWh warmtevraag. Een huishouden heeft gemiddeld 80 – 100 liter warm water per dag per persoon nodig (Quaschnig, 2016).

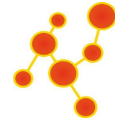
Toepassing op voorbeeldcasus Ramplaankwartier

Voor het Ramplaankwartier is gekozen voor een buffertank van 180 liter die alleen warm water levert voor tapwater.

De setpointtemperatuur van het buffervat is bij het Ramplaankwartier bepaald a.d.h.v. de volgende richtlijnen (Yang, Li, & Svendsen, 2016):

- De groei van Legionella dient voorkomen te worden, hiertoe moet water worden opgeslagen bij 60 ° C of hoger
- Heet water moet worden verdeeld bij 50°C of hoger

Input	Bewerking	Output
<ul style="list-style-type: none"> • Keuze doeleinde van het vat 	<ul style="list-style-type: none"> • In de praktijk is het aantal beschikbare typen 	<ul style="list-style-type: none"> • Volume • Setpointtemperatuur • Vermogen elektrisch element



<ul style="list-style-type: none"> • Maximum van het te leveren – en op te nemen piekvermogen • Vuistregels benodigd aantal liters per gebruik 	buffervaten gelimiteerd <ul style="list-style-type: none"> • Volume: aantal huishoudens * 80-100 l * 2 (tap) • Max 100 l per MWh warmtevraag voor tapwater 	
--	--	--

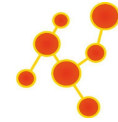
3.6.3 Warmtewisselaar

Een warmtewisselaar is een apparaat dat warmteoverdracht faciliteert tussen verschillende fluida (gassen en/of vloeistoffen). De warmteoverdracht gaat door een plaat of wand die de verschillende fluida scheidt. Daarnaast faciliteren warmtewisselaars hydraulische scheiding tussen twee hydraulische circuits. (Keijzer, 2018).

Hoeveel vermogen de warmtewisselaar moet kunnen overzetten, wordt gedicteerd door het maximum over te zetten vermogen van woninginstallatiecircuit naar het distributie circuit en andersom; zie paragraaf 3.3. Daarnaast dient rekening gehouden te worden met de bijbehorende in- en uitstroom temperaturen. In ZLT systemen is het gunstig om het temperatuurverschil tussen de koudste instroom en de warmste uitstroom zo klein mogelijk te houden. Dit waarborgt o.a. een zo hoog mogelijke instroomtemperatuur in de warmtepomp en daarmee een acceptabel thermisch rendement. Als laatste dienen de beschikbare plaatmaterialen en hun thermische eigenschappen bekeken te worden, met als hoofdpunten de thermische geleidbaarheid en warmtecapaciteit.

Tegenstroomapparaten (TSA's) zijn warmtewisselaars waar de beide vloeistoffen in tegengestelde richting langs elkaar stromen, deze hebben een hoger thermisch rendement dan gelijkstroomapparaten en zijn noodzakelijk in een ZLT-P-WN. Het ontwerp-temperatuurverschil over de TSA bedraagt maximaal 2 °C, omdat dit temperatuurverschil maximaal 4x optreedt tussen PVT-productie in de zomer, opslag in de OBES en gebruik in de winter. Het aantal keren dat een TSA temperatuursprong optreedt hangt af van de omstandigheden; zie de tabel hieronder.

Conditie	Aantal TSA temperatuursprongen
PVT-warmte wordt direct gebruikt door warmtepomp	0
PVT-warmte wordt aan cluster geleverd en door naburige woningen gebruikt	2
PVT-warmte wordt via cluster in OBES opgeslagen	2
PVT-warmte wordt via cluster in OBES opgeslagen en later geleverd	4



Input	Bewerking	Output
<ul style="list-style-type: none"> • Maximaal over te zetten vermogen • Bijbehorende in- en uitstroom temperaturen • Zo klein mogelijke temperatuurverschil tussen koudste instroom en warmste uitstroom • Thermische eigenschappen van plaatmateriaal • 	<ul style="list-style-type: none"> • Calculaties van de TSA maken met gespecialiseerde simulatie software • Dergelijke software dient (geteste) hydrothermische eigenschappen van bestaande warmtewisselaren te bevatten • Vergt een optimalisatieslag op verschillende mogelijke uitkomsten 	<ul style="list-style-type: none"> • Keuze type en afmeting

3.7 Ontwerp van het woninginstallatiecircuit

Zoals besproken in hoofdstuk 3.2, heeft het voordelen om de temperatuur in het woninginstallatiecircuit en het distributiecircuit zo constant mogelijk te houden.

Zo waarborgt de ontwerper onder andere dat de temperatuur in de PVT panelen, warmtepomp en OBES binnen het ontwerpbereik blijven en zo optimaal blijven functioneren.

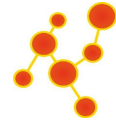
Temperatuurschommelingen dienen dus zo beheersbaar/voorspelbaar mogelijk te zijn. Naast de regeling, heeft ook de hydraulische configuratie hier invloed op.

Om kosten en onderhoud te minimaliseren dient de hoeveelheid hydraulische componenten zo laag mogelijk gehouden te worden. Een andere manier om kosten en onderhoud te minimaliseren is hydraulische scheiding van het woninginstallatie circuit en distributiecircuit, bijvoorbeeld bij lekkage. Als laatste is een belangrijke ontwerpafweging de flexibiliteit van de configuratie voor verschillende bedrijfstoestanden. Voorbeelden van deze flexibiliteit:

- Gecombineerde warmteaanvoer van de PVT panelen en de warme bron als input voor de warmtepomp.
- Gecombineerde warmteaanvoer van de warmtepomp en koude bron, als input voor de PVT panelen.

De benodigde diameter van leidingen rond de woninginstallatie wordt mede bepaald door het piekvermogen van de woning.

Input	Bewerking	Output
Ontwerp-temperatuurbereik van OBES, warmtepomp en PVT paneel [Input 3.2] <ul style="list-style-type: none"> • 	<ul style="list-style-type: none"> • Stationaire thermohydraulische rekensimulaties • Voor alle regeltoestanden 	Configuratie schema inclusief hydraulische (hulp)componenten

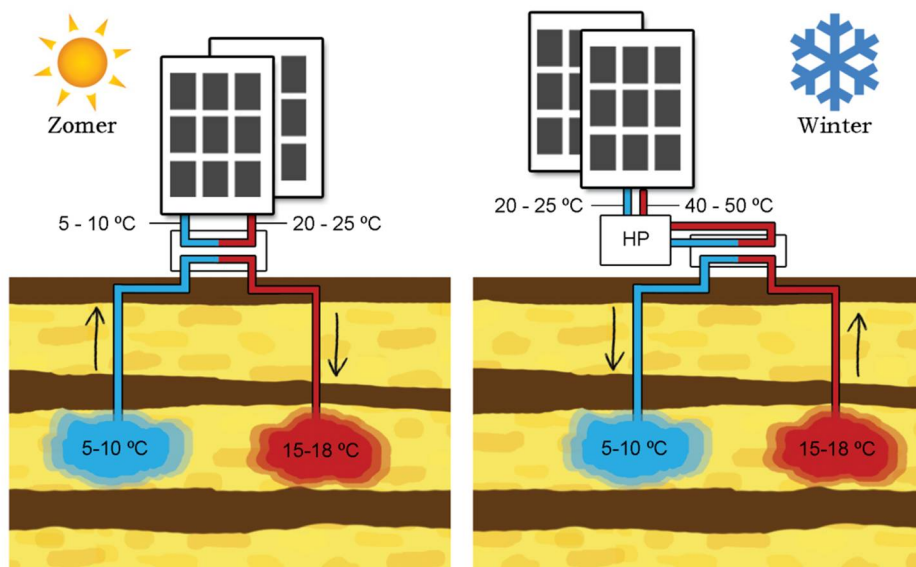


	<ul style="list-style-type: none">• Verschillende experts kunnen verschillende resultaten geven → keuze maken bijvoorbeeld o.b.v. kosten	
--	--	--

4 Ontwerp van bodemenergiesystemen

4.1 Wat is een open bodemenergiesysteem

Een open bodemenergiesysteem (OBES, ook wel bekend als Warmte Koude Opslag), ook wel seizoensopslag genoemd, slaat warmte en koude op in grondwater, zie Figuur 4-1. Afhankelijk van wat het distributiecircuit nodig heeft, wordt er water uit de warmte of koude bron omhoog gepompt. Via een warmtewisselaar wordt de warmte of koude afgegeven aan het distributiecircuit.



Figuur 4-1: Open bodemenergie systeem (OBES)

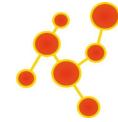
4.2 De locatie van de bodemenergiebronnen

In het voorontwerp moet al bepaald zijn waar de bronnen ongeveer aangelegd kunnen worden (ruimtelijke inpassing en locatie inkoppeling warmtenet). Hiertoe dient de ontwerper vast te stellen of:

- Het aanleggen van grondwaterbronnen in de ondergrond is toegestaan
- De ondergrond geschikt is

In het detailontwerp bekijkt de ontwerper de ondergrond in meer detail. Hier kijkt men naar de verschillende grondlagen. Op welke diepte de watervoerende lagen en scheidende lagen liggen en hoe dik die zijn. Wat de doorlatendheid van de watervoerende lagen is en wat de stroomsnelheid en richting van het grondwater is. De globale beschrijving van de bodemopbouw is afgeleid op basis van de (digitale) grondwaterkaart, boringen van dinoloket en REGIS.

Hoe centraler binnen het cluster van woningen en warmtewisselaren de OBES ligt, hoe korter de totale lengte van de distributieleidingen. En daarmee hoe lager de warmteverliezen en materiaalkosten. Verder moet de locatie bovengronds ook ruimte bieden voor boorwerkzaamheden en onderhoud.



Vuistregels voor de afstanden tussen de verschillende bronnen zijn als volgt (Bloemendal, Jaxa-Rozen, & Olsthoorn, 2018) :

- Bronnen van hetzelfde type (warm-warm of koud-koud), 0.5 tot 1 maal de thermische straal
- Bronnen van het tegenovergestelde type, 2 tot 3 maal de thermische straal

Input	Bewerking	Output
<ul style="list-style-type: none"> • Geschiktheid van de verschillende grondlagen • Ruimte bovengronds; • Centrale ligging • Ruimte voor werkzaamheden en onderhoud 	<ul style="list-style-type: none"> • Aan de hand van een gedetailleerde kaart van het gebied verschillende opties intekenen tot de meest locaties gevonden zijn die aan de meeste ontwerpcriteria voldoen 	<p>Exacte locaties van de bronnen</p>

4.3 Benodigde opslagcapaciteit

Het cluster is het kleinste schaalniveau voor ontwikkeling en opschaling van dergelijk ZLT-P-WN. In deze paragraaf wordt de benodigde energie opslagcapaciteit voor één cluster bepaald. Als eerst door het verschil tussen de energievraag van een cluster en de energieproductie van de PVT panelen te berekenen. Vaak wordt voor de zekerheid nog een veiligheidsfactor bovenop de berekende opslagcapaciteit genomen.

Aandachtspunt is het benodigde minimale debiet uit de bron. Bronpompen kunnen doorgaans traploos gestuurd worden tot circa 20% van hun maximale debiet. Dus als het benodigde debiet vaak lager is dan 0.2 maal het maximale debiet, moet daar of een voldoende grote buffer voor worden toegepast of twee bronpompen worden geïnstalleerd.

Met behulp van de gemiddelde temperatuur in de warme bron dient het benodigde opslagvolume bepaald te worden. Als dit opslagvolume kleiner is dan het beschikbare volume onder de grond kan men volstaan met één doublet. Anders zijn er meerdere doubletten nodig. Let op, naast dat de ondergrond genoeg opslag volume moet hebben, moet ook het maximale extractievermogen voldoende zijn. Zie paragraaf 4.4.

Input	Bewerking	Output
Energievraag en energieproductie	Een tijdsgrafiek maken van: ((Energievraag – energieproductie) * veiligheidsfactor)) en die integreren om de benodigde energieopslag te bepalen	Benodigde energieopslag
<ul style="list-style-type: none"> Benodigde energieopslag Temperatuur in de warme bron Temperatuur in de ondergrond 	<ul style="list-style-type: none"> Rekensimulaties van de ondergrond draaien Hierbij kunnen variaties van de parameters over de tijd meegenomen worden Voor een inschatting met de hand: $V = \frac{E}{(T_{wb} - T_o) * \rho * c_p}$ Waarbij: E = benodigde energie(opslag) [J] T_{wb} = temperatuur in de warme bron [K] T_o = temperatuur in de ondergrond [K] ρ = dichtheid van water [kg/m³] c_p = warmtecapaciteit van water [J/(kg*K)] 	Benodigd opslagvolume

4.4 Dimensionering van het OBES systeem

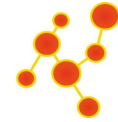
De dimensionering van de OBES van een cluster wordt bepaald door het gevraagde piekvermogen en het maximale extractievermogen van de ondergrond. Het maximaal extractiedebiet kan worden afgeleid op basis van de (digitale) grondwaterkaart, boringen van dinoloket en REGIS. Het maximale extractiedebiet, in combinatie met de extractietemperatuur van het grondwater, bepalen het maximale extractievermogen. Als het maximale extractievermogen groter is dan het piekvermogen van het cluster, kan men voldoen met één doublet. Anders zijn er meerdere doubletten nodig. Let op, naast dat het maximale extractievermogen voldoende moet zijn, moet de ondergrond ook genoeg opslag volume hebben. Zie paragraaf 4.3.

Als voorzorgmaatregel wordt in een wijk (met meerdere clusters) vaak een extra paar doubletten geplaatst, voor als er in onderhoud moet.

4.4.1 Boorgat, boorleiding en filters

Op basis van de ontwerprichtlijnen voor bodemenergiesystemen (SIKB, 2018) dient de maximale grondwaterstromingsnelheid op de boorgatwand en de diameter van de boorgatwand te worden vastgesteld.

De lengte van de boorleidingen en filter(s) wordt bepaald door de start- en einddiepte van de geschikte grondlaag. Een geschikte grondlaag heeft een hoge doorlatendheid. Daarnaast is het nuttig om de diepte



van het verwarmde watervolume (en dus de lengte van het filter) net zo groot te maken als de breedte van het watervolume. Deze verhouding van oppervlakte op inhoud zorgt voor minimaal warmteverlies.

Input	Bewerking	Output
<ul style="list-style-type: none"> • 	Ontwerprichtlijnen bodemenergiesystemen raadplegen	<ul style="list-style-type: none"> • Maximale grondwaterstroomsnelheid op boorgatwand • Diameter boorgatwand
<ul style="list-style-type: none"> • Start- en einddiepte geschikte grondlaag • Verhouding oppervlak en inhoud van watervolume 		Lengte boorleiding en filter(s)

4.5 Energievraag aan de bodem

Opslag volume [m^3/j] en maximale debiet [m^3/u] zijn benodigde ontwerpparameters voor het bronsysteem. Na invangen zonnewarmte, inzet warmtepomp en onderlinge uitwisseling blijft er nog een netto warmte- en vermogensvraag over dat door de bronnen moet worden geleverd/opgeslagen.

Tabel 4-1. Uitgangspunten deelgebieden ramplaankwartier.

	Aantal huizen	Opslag volume	Debiet in bron	Debiet uit bron
	[-]	$[\text{m}^3/\text{j}]$	$[\text{m}^3/\text{u}]$	$[\text{m}^3/\text{u}]$
Oost	243	136,000	320	179
Noord	229	128,165	302	169
Zuid	236	132,082	311	174
West	366	204,840	482	270
Totaal	1074	601,086	1,414	792

4.6 Ontwerp van het OBES-circuit

Bij de configuratie van de doubletten en leidingen in het OBES systeem, dient de ontwerper rekening te houden met de afstand tussen de warme en koude leidingen.

Input	Bewerking	Output
<ul style="list-style-type: none"> • Piekvermogen cluster • Maximaal debiet in/uit de OBES • Maximaal toelaatbare drukval per meter 	<ul style="list-style-type: none"> • Rekensimulaties draaien • Deze zal iteraties bevatten 	<ul style="list-style-type: none"> • Configuratie OBES-leidingen • Leidingdiameter rond OBES

4.7 Bronontwerp en bronlocaties voor Ramplaankwartier

4.7.1 Bodemgeschiktheid

De maaiveldhoogte ter plaatse van het Ramplaankwartier is ongeveer NAP +0.5m (AHN, 2017). De bodemopbouw is schematische weergegeven in **Error! Reference source not found.** Ter plaatse van het Ramplaankwartier is de deklaag circa 20 m dik. Het eerste watervoerende pakket (WVP) direct daaronder bestaat uit fijne tot matige grove zanden. Het eerste watervoerende pakket loopt tot circa 35m diepte en de daaronder gelegen eerste scheidende laag loopt tot circa 90m. Vanaf 90m begint het circa 100m dikke tweede watervoerende pakket. De onderkant van het tweede watervoerende pakket wordt afgesloten door de kleilagen van de formatie van Maassluis, die vervolgens overgaat in een dunne laag van fijn tot grof zand, wat als het derde watervoerende pakket is aangemerkt. De globale beschrijving van de bodemopbouw is afgeleid op basis van de (digitale) grondwaterkaart, boringen van dinoloket en REGIS (TNO, 2017). Gezien de beperkte dikte van WVP 1 en de grote diepte van WVP 3 is WVP 2 het meest geschikt voor toepassing van bodemenergie, deze laag wordt in Haarlem en Amsterdam ook veelvuldig gebruikt voor bodemenergie.

De doorlatendheid van deze laag is goed en met 100m dikte is er voldoende dikte om filters optimaal te plaatsen. In het onderste deel van WVP 2 neemt de doorlatendheid af, daarom is het is het beste om de filters te stellen tussen 95 en 160m diepte. Rekening houdend met stoorlaagjes wordt er voor het ontwerp van de bronnen van uitgegaan er 55 tot 65 m filter kan worden geplaatst per bron.

De grondwaterstroming in de watervoerende pakketten is beperkt, <5m/j in westelijke richting. Daarom wordt uitgegaan van stagnant grondwater.

bovenkant <i>m tov mv</i>	onderkant <i>m tov mv</i>	Dikte <i>m</i>	Eenheid -	Materiaal -	formatie -	Kh <i>m/d</i>	Kv <i>m/d</i>
0	-22	22	hol. deklaag	Holocene afzettingen, klei,		1	0.200
-22	-35	13	WVP 1	fijn matg grof zand	Kreftenheye	18	4
-35	-90	55	sdl 1	gestuwd/ complexe eenheid	Waalre, Sterksel	0	0.018
-90	-190	100	wvp2	fijn tot grof zand, grind, schelpen	Peize, waalre	63	13
-190	-200	10	SDL 2	klei, zandige klei	Maassluis	0	0.010
-200	-225	25	wvp3	fijn tot grof zand, grind, schelpen	Maassluis	20	2
-225	-230	5	SDL 3	klei, zandige klei	Maassluis	0	0.010
-230	-260	30	wvp3	fijn tot grof zand, grind, schelpen	Maassluis	38	8
-260	-300	40	Basis	zandige en kleiige afzettingen	Maassluis, Oosterhout	0	0.013
-300	-340	40	Basis	zandige en kleiige afzettingen	Oosterhout	30	10
-340	-470	130	Basis	zandige en kleiige afzettingen	Oosterhout	0	0.003

Tabel 4-2 Globale bodemopbouw o.b.v. Regis en boorschrijvingen (TNO, 2017)

4.7.2 Bronontwerp

Op basis van de ontwerprichtlijnen voor bodemenergiesystemen (SIKB 2018) is de maximale grondwaterstromingssnelheid op de boorgatwand vastgesteld. Deze is afhankelijk van de doorlatendheid van de aquifer de gemiddelde waarde van WVP is circa 63m/d, maar het bovenste deel heeft een wat lagere doorlatendheid en is dus maatgevend voor het hele bronontwerp. Daarom wordt er (worst-case) gerekend met een doorlatendheid van 35m/d voor de hele bron, met een filterlengte van 55m.

In Tabel 4-3 is het maatgevende debiet opgenomen, dit is een lager debiet dan is opgegeven in Tabel 4-1 omdat het maximale debiet maar enkele uren per jaar benodigde is. Die enkele uren verantwoorden niet de benodigde meer investering. Hiervoor is de vuistregel toegepast dat met circa 70-80% van de capaciteit aan 80-90% van de benodigde vraag kan worden voldaan. Uit Tabel 4-3 blijkt dat deelgebied west twee doubletten nodig heeft en noord één. Deelgebieden oost en zuid zouden met één groot doublet of twee kleine doubletten kunnen worden uitgerust, dat valt nader te optimaliseren afhankelijk van bijvoorbeeld de boorkosten of de maximale redundantie die vereist is en het maximale vereiste debiet.

Tabel 4-3. Benodigde diameter bron per deelgebied

	Debiet bron [m ³ /u]	benodigde diameter [m]
Oost	250	1x 0.9 of 2x 0.6
Noord	236	0.8
Zuid	243	1x 0.9 of 2x 0.6
West	377	2x 0.7

Met polysun zijn simulaties uitgevoerd om het samenspel tussen zonnecollector, woning, warmtepomp en warmtenet inzichtelijk te maken. De resultaten van deze simulaties geven inzicht in het benodigde opslag volume per seizoen en het maximale debiet van/naar de bronnen. Hierbij is uitgegaan van de ΔT tussen de bronnen van 7°C.

4.7.3 Bronlocatie

De bronnen moeten worden geplaatst in de buurt van de warmtewisselaars van elk deelgebiedje. Deltares heeft de locaties van de warmtewisselaars vastgesteld. De bronnen van het tegenovergestelde type moeten minimaal 2 maar idealiter 3x de thermische straal afstand van elkaar staan, dezelfde type bronnen moeten 0.5-1x de thermische straal afstand tot elkaar worden geplaatst (Bloemendal, Jaxa-Rozen, & Olsthoorn, 2018). De warmtewisselaars van noord en oost zijn zodanig gepositioneerd dat de bronnen van deze gebieden kunnen worden geclusterd.

Uitgaande van thermische straal van ongeveer 50m, is gekomen tot de indeling in Figuur 4-2.



Figuur 4-2. Concept voorstel bronlocaties

4.7.4 Aanlegkosten

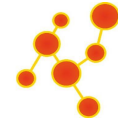
De aanlegkosten voor de bronnen van elke deelgebied zijn inzichtelijk gemaakt. Er zijn verschillende kentallen en berekeningswijze voor kosten inschatting van bodemenergie bronnen die nooit allemaal dezelfde waarde geven vandaar dat er een range is aangegeven in Tabel 4-4. Totale aanlegkosten voor de bronnen zal dus rond de 1 M€ bedragen.

Tabel 4-4. Aanlegkosten bronnen, alleen de bron, inclusief putbehuizing, bronpomp, frequentie regelaar en injectieklep.

	Debiet bron	benodigde diameter	einddiepte	kosten
	[m ³ /u]	[m]	[m-mv]	[k€]
Oost	250	0.9 (of 2x 0.6)	170	250 - 350
Noord	236	0.8	170	150 - 200
Zuid	243	0.9 (of 2x 0.6)	170	250 - 350
West	377	2x0.7	170	300 - 400

4.8 Bron-rendement

Om inzicht te krijgen in de te verwachtte bron rendementen zijn er thermo-geohydrologische simulaties uitgevoerd van de beoogde bronnen in het ramplaankwartier. Op basis van het hierboven beschreven bronontwerp, bronlocaties en beoogde opslag volume en temperatuur is met behulp van MODFLOW/SEAWAT in beeld gebracht hoe de bronnen presteren.



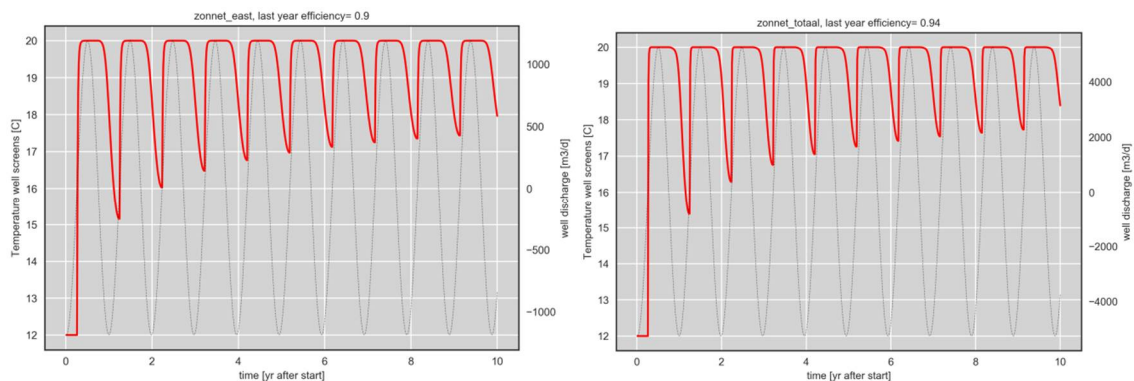
4.8.1 Generieke simulaties voor verschillende bronclusters

Op basis van de benodigde opslag volumes uit Tabel 4-1 en de clustering van bronnen is het te verwachten rendement van de verschillende clusters inzichtelijk gemaakt. Het jaar debiet is met een cosinus verdeling over het jaar uitgesmeerd. Ter vergelijking is ook nog bepaald wat het rendement zou zijn als alle bronnen worden geclusterd. Uit deze simulaties blijkt dat het clusteren van bronnen wel een beetje helpt voor de prestatie van het bodemenergiesysteem. Maar de efficiëntie van de verschillende configuraties is al wel redelijk hoog. Daarom is gekozen om de bronnen niet te clusteren.

Tabel 4-5. Resultaten van simulatie scenario's na 5 jaar simulatie

	Opslag volume	Efficiëntie na jaar 5	Efficiëntie na jaar 10
	[m ³ /j]	[-]	[-]
Oost / zuid*	136,000	0.87	0.90
West	205,000	0.89	0.91
Noord & Oost	265,000	0.90	0.92
Totaal	602,000	0.93	0.94

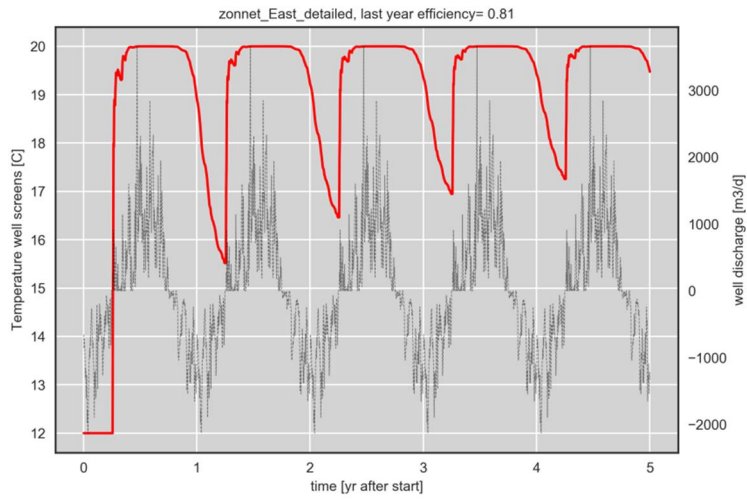
* clusters zuid en oost hebben ongeveer even grote opslag volumes, en daardoor ongeveer gelijke efficiëntie.



Figuur 4-3. Infiltratie en onttrekkingstemperatuur en debiet warmtebron. Links: alleen deelgebied oost, Recht: als alle bronnen zouden worden geclusterd als 1 bron.

4.8.2 Detail simulatie raamplan oost

In Figuur 4-4 op dagelijkse tijdschaal inzichtelijk gemaakt wat de te verwachte onttrekkingstemperatuur is. Door de dynamiek in voorjaar en najaar valt de efficiëntie onder meer realistische condities wat lager uit. Er moet rekening worden gehouden met minimale onttrekkingstemperaturen van 15-16°C tijdens de eerste jaren, en 17-18°C in latere jaren. Voor de gecombineerde bronnen van deelgebieden noord en oost komen de detail simulaties uit op een efficiëntie van 84% na 5 jaar.



Figuur 4-4. Infiltratie en onttrekkingstemperatuur warme bron Ramplaankwartier, deelgebied oost.

5 Distributiecircuit ontwerp

5.1 Netwerkconfiguraties

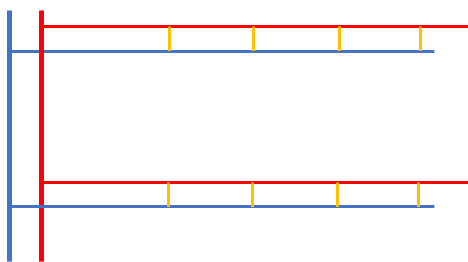
Bij het ontwerpen van het distributiecircuit dient het aantal meters pijpleiding zoveel mogelijk beperkt te worden. Dit is voordelig voor de kostenefficiëntie en de energetische efficiëntie.

De wijk dient opgedeeld te worden in clusters, dus een OBES systeem en een aantal woningen. Een ZLT-netwerk bestaat doorgaans uit twee parallelle pijpleidingsystemen, één met lagere temperatuur en één met hogere temperatuur. Voor de aanleg, het onderhoud en reparatie van het leidingsysteem is toegankelijkheid van de leidingen van groot belang. Bijvoorbeeld door ze onder een stoep te leggen. In verband met lekkage is het nuttig om verschillende secties van het systeem te kunnen afsluiten.

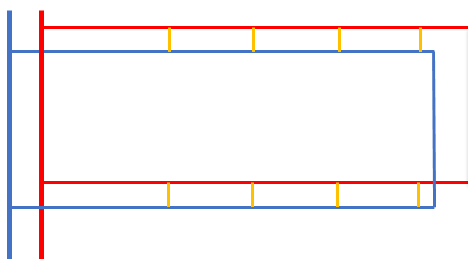
Het leidingontwerp leidt tot een vertakte of vermaasde netwerkstructuur met ringen vanuit de OBES-installaties voor seizoensopslag. Zie Figuur 5-1. Figuur 5-1: Twee veelvoorkomende netwerkstructuren Als het leidingontwerp volledig vertakt is en er treedt een lekkage op aan het begin van een tak, dan zijn alle woningen op die tak afgesloten van het netwerk. In een vermaasde structuur kan de warmte/koude nog via de andere kant geleverd worden. Een vermaasd netwerk is daarmee betrouwbaarder, maar leidt ook tot grotere investeringen. Het leidingnetwerk hoeft niet volledig vermaasd te zijn, maar het aantal afgesloten woningen bij een lekkage moet beperkt blijven en de lekkende leiding moet snel genoeg gerepareerd kunnen worden.

Het voordeel van een vertakte netwerkstructuur is een kortere verblijftijd (minder warmte verliezen) en lagere investeringskosten, maar hogere drukvallen voor de prosumer-pompen achterin het netwerk en meer afsluitingen bij lekkages. De voordelen van een vermaasde netstructuur zijn de grotere betrouwbaarheid en kleinere drukvallen, maar daar staan een langere verblijftijd en hogere investeringskosten tegenover.

Vertakte netwerkstructuur



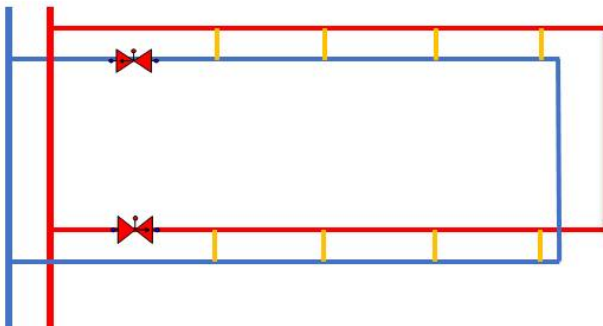
Vermaasde netwerkstructuur



Figuur 5-1: Twee veelvoorkomende netwerkstructuren

Bij zowel de vertakte netwerkstructuur als de vermaasde netwerkstructuur neemt de ontwerpdrukval toe naarmate de afstand tot de OBES toeneemt. In een vermaasd netwerk kan de drukval voor de decentrale circulatiepompen (in de afleversets) gelijk gemaakt worden aan de van een vertakt netwerk door twee geschikte klepsluitingen. Hierdoor wordt de vermazing omgevormd tot een zogenaamde Tichelmann-ring. Zie Figuur 5-2. Het voordeel van zo'n Tichelmann-ring is dat de ontwerpdrukval voor alle decentrale distributiepompen gelijk is, maar het nadeel is dat de totale transportafstand in warme en koude leiding voor alle aansluitingen even lang is als de transportafstand van de verste aansluiting in de ring. Met Tichelmann-ringen zullen de leidingdiameters groter gekozen moeten worden ten opzichte van een vermaasde netwerkstructuur.

Tichelmann ring



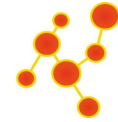
Figuur 5-2: Optimalisatie van een vermaasde netwerkstructuur, tot een Tichelmann ring

Toepassing op de voorbeeldcasus Ramplaankwartier:

Voor het Ramplaankwartier is aanvankelijk is een vergelijking gemaakt tussen de totale lengte van een dubbel en een enkel netwerk op straat. De eerste zal bestaan uit 4 parallelle pijpleidingen en de tweede uit 2 parallelle pijpleidingen per straatdoorsnede. Een dubbele netwerkoplossing (4 parallelle pijpleidingen per doorsnede) heeft het voordeel van kortere huisverbindingslengten en minimaliseert de verkeersverstoring tijdens de installatie, aangezien alle pijpleidingen in de trottoirs worden geplaatst. Een dergelijke oplossing zou echter de materiaalkosten niet verlagen en tegelijkertijd de installatiekosten aanzienlijk verhogen vanwege een verdubbeling van de lengte van de greppels en extra warmteverliezen. Bovendien zijn de meeste wegen van Ramplaankwartier bedekt met bakstenen en kan het dure en tijdrovende breken van het asfalt worden vermeden. Dat maakt het enkele netwerk (2 pijpleidingen per straatdoorsnede) een goedkopere oplossing.

De specifieke configuratie voor het Ramplaankwartier is gemaakt aan de hand van een kaart van de wijk en het gespecialiseerde softwarepakket WANDA. Het belangrijkste criterium voor een start-ontwerp is de totale leidinglengte van het systeem: hoe korter de totale leidinglengte, hoe lager de investeringskosten.

Nadat de minimale hydraulische configuratie bepaald is, kunnen op strategische locaties lussen gecreëerd worden om de betrouwbaarheid en leveringszekerheid te verhogen, zodat bij onderhoud of lekkage een groot deel van de wijk nog van warmte kan worden voorzien. De aanwezigheid van lussen zorgt ook voor kleinere drukvallen voor de netwerzijdige OBES-pompen en pompen in de afleversets van de woningen.



Input	Bewerking	Output
<ul style="list-style-type: none"> • Configuraties woninginstallatie en OBES bronnen • Infrastructuur bovengronds 	<ul style="list-style-type: none"> • Iteratief proces waarbij de configuratie met iedere stap verbeterd wordt • Bij het beoordelen dienen, leidinglengtes, toegankelijkheid voor onderhoud en mogelijkheid tot noodmaatregelen meegenomen te worden. • Gewenst niveau van betrouwbaarheid en leveringszekerheid 	Configuratie en exacte locaties leidingen

5.2 Leidingontwerp

Het ontwerp van het distributiecircuit is een integraal onderdeel van een ZLT-P-WN.

De benodigde diameter van leidingen in het distributiecircuit wordt voornamelijk bepaald door het piekvermogen van het cluster en de warmtelevering van de PVT panelen. Eerst worden per woning tijdseries berekend van het warmtevermogen en debiet uit de PVT panelen; dit geeft een indicatie van de maximale hoeveelheid warmte die terug geleverd moet kunnen worden aan het distributienet. Het vermogen met bijbehorend debiet wordt vervolgens gebruikt in rekensoftware om de leidingdiameters te bepalen.

Deze bepaling voor het Ramplaankwartier bestaat uit iteratieve simulaties met het gespecialiseerde softwarepakket WANDA. Hierbij zijn 'worst case' condities aangenomen:

- Hoge wandruweheidsfactor voor leidingen, om de hydraulische verliezen van kleppen, T-stukken en andere netwerkelementen mee te nemen. Het wordt aangeraden om de wandruweheidswaarden te bepalen in overleg met de leverancier, dan heeft de een basiswaarde die nog verhoogd dient te worden voor de andere appendages in het netwerk
- Maximaal debiet vanuit de huizen het net in, rekening houdend met de gelijktijdigheidsfactor in de maatgevende situatie.

De gewenste drukafname per meter leidinglengte is maximaal 300 Pa/m, dit leidt tot de laagste kapitaalkosten en variabele kosten (Best, Orozaliev, & Vajen, 2018).

De minimale externe diameter van de leidingen is 25mm. Bij kleinere diameters wordt een leiding te zwak en kunnen te makkelijk scheuren ontstaan door bijvoorbeeld graafactiviteiten in de buurt.

Tijdens de iteratieve simulatie wordt de netwerkconfiguratie ingevoerd, en de leidingdiameters iteratief aangepast, tot drukafnames in het netwerk niet hoger zijn dan 300 Pa/m. De resulterende waarden van de diameters worden naar boven afgerond tot de dichtstbijzijnde commercieel beschikbare leidingdiameter. Resulterende waarden van kleiner dan 25 mm worden op 25 mm gezet.

Input	Bewerking	Output
<ul style="list-style-type: none"> Leidingdiameters woning en OBES Maximaal toelaatbare drukval per meter Maximaal debiet in distributieleidingen 	<ul style="list-style-type: none"> Rekensimulaties draaien Deze zal iteraties bevatten 	Leidingdiameters distributienetwerk

Deze ontwerpaanpak levert een minimaal vertakt leidingnetwerk voor de maatgevende debietverdeling in het netwerk. Vervolgens kunnen de vertakkingen op strategische locaties verbonden worden om de betrouwbaarheid van het distributienet te vergroten. Dit levert een vermaasd net-ontwerp.

5.3 Thermische isolatie

“Om het warmteverlies van het netwerk te verminderen, worden kleine buisdiameters en hoogwaardige buisisolatie aanbevolen in het distributienetwerk en de servicebuizen”. (Schmidt & Kallert, 2017). Voor meer informatie over leiding isolatie en warmteverlies reductie, zie (Schmidt & Kallert, 2017, pp. H4, H5).

Voor hogere temperatuur warmtenetten is een hoge isolatiegraad van groter belang dan voor ZLT-warmtenetten. De ontwerper dient een balans te vinden tussen energieverlies en kosten. PUR is een veelgebruikt isolatiemateriaal, het is verkrijgbaar in verschillende geteste en gedocumenteerde isolatieklassen.

Koudeleidingen in een ZLT-P-WN kunnen eventueel ongeïsoleerd zijn, omdat de watertemperatuur ongeveer gelijk is aan de bodemtemperatuur.

Input	Bewerking	Output
<ul style="list-style-type: none"> Gewenste isolatiewaarde leidingen Beschikbare isolatiematerialen 	Simulatie scenario's draaien die meenemen: <ul style="list-style-type: none"> De temperatuur in de leidingen over een jaar Verschillende isolatiematerialen en diktes Materiaalkosten 	Keuze isolatiemateriaal(dikte)

6 Dynamische effecten

6.1 Inleiding

Het leidingontwerp dient getoetst te worden aan de maximaal en minimaal optredende drukken die in het systeem op kunnen treden tijdens niet-stationaire situaties t.g.v. de normale bedrijfsvoering en noodsituaties zoals een stroomstoring. In principe dienen alle leidingsystemen, die hydraulisch gescheiden zijn, getoetst te worden. Dit betreft de volgende systemen:

- De binneninstallatie
- Het distributiesysteem, zeer-lage-temperatuur prosumer warmtenet (ZLT-P-WN)
- Het grondwatersysteem

De focus in dit hoofdstuk ligt op het ZLT-P-WN. We besteden ook enige aandacht aan het grondwatersysteem, omdat dynamische effecten in de bestaande NVOE richtlijn niet worden benoemd. De binneninstallatie is qua hydraulisch ontwerp zeer vergelijkbaar met een individueel systeem met een PVT-paneel en bodemlus. Daarom wordt de binneninstallatie in dit hoofdstuk niet verder besproken.

6.2 Aanpak dynamische analyse

De aanpak voor de dynamische analyse, ook wel waterslaganalyse genoemd, is in essentie hetzelfde voor alle typen leidingsystemen. Het startpunt is het stationaire ontwerp van het leidingsysteem, zoals toegelicht in hoofdstuk 4 voor het grondwatersysteem en in hoofdstuk 5 voor het ZLT-P-WN. Hierbij onderscheiden we noodscenario's, reguliere en incidentele bedrijfsvoeringen.

Bij de beoordeling van de resultaten van de waterslaganalyse, dient de ontwerper gebruik te maken van acceptatiecriteria. Deze hebben veelal de vorm van een maximaal of minimaal toelaatbare druk, als factor van de nominale drukklasse. Een voorbeeld hiervan zijn de acceptatiecriteria voor reguliere bedrijfsscenario's volgens de NEN 3650:

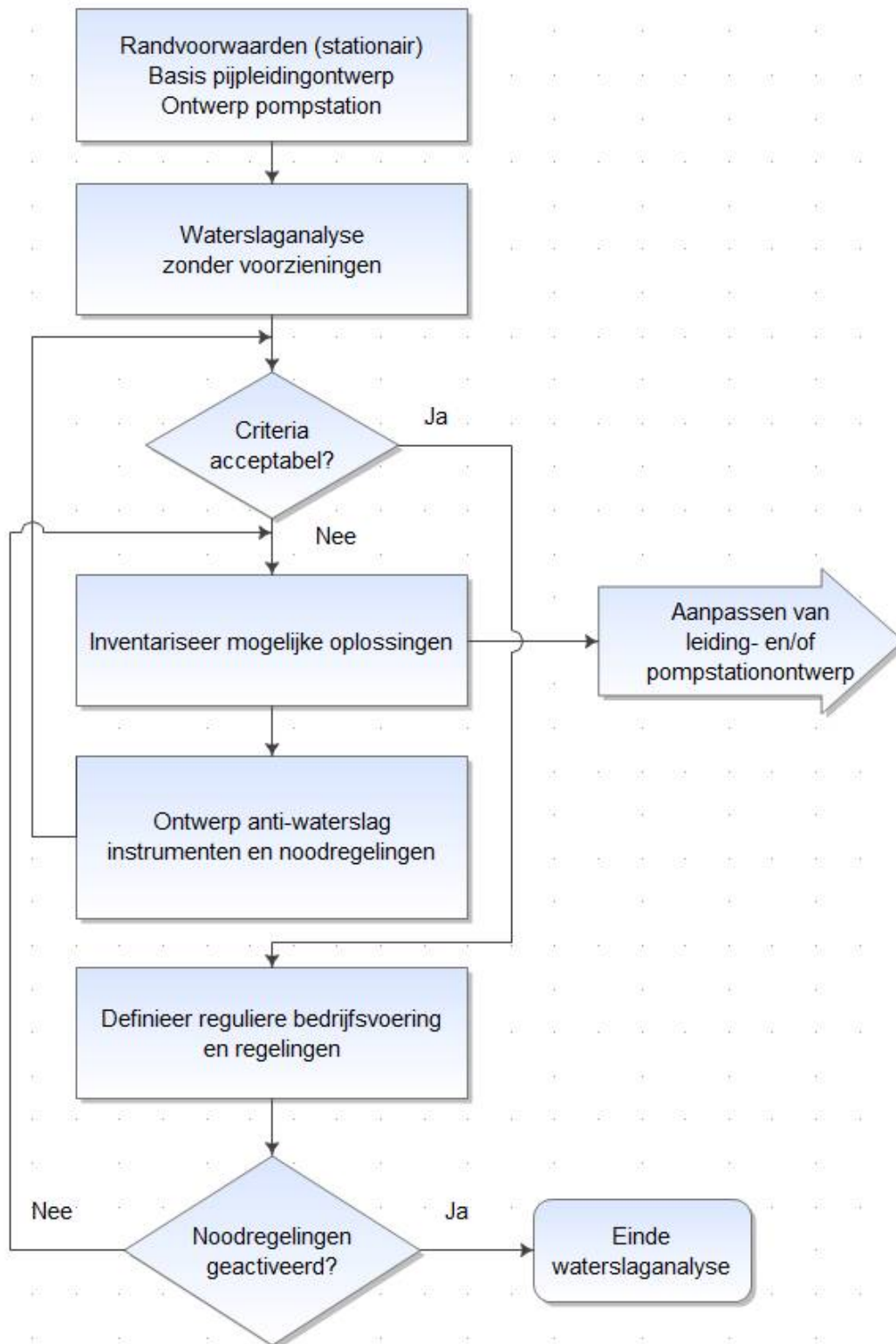
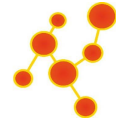
- Geen overschrijding van de MAIP (Maximum Allowable Incidental Pressure). Dit is 115% van de nominale drukklasse

Voor een overzicht van MAIP's volgens verschillende internationale standaarden, zie tabel 1 van (Pothof & Karney, 2012).

Het stappenplan is weergegeven in Figuur 6-1 en wordt uitgebreid toegelicht in (Pothof & Karney, 2012). Dit is een openbaar toegankelijke publicatie.

Elk leidingsysteem heeft uiteraard zijn eigen specifieke scenario's, acceptatiecriteria en oplossingen. Deze worden in de volgende paragrafen voor het ZLT-P-WN en het grondwatersysteem toegelicht.

Uit de waterslag analyse volgen aanbevelingen waarmee het systeem duurzaam en veilig gebruikt kan worden. Dit zijn aanbevelingen over noodzakelijke appendages om drukken binnen de toelaatbare marges te houden of aanbevelingen over de snelheid waarmee pompen of kleppen gestuurd mogen worden.



Figuur 6-1: Stappenplan voor dynamische analyse van leidingsystemen (Pothof & Karney, 2012) n

Input	Bewerking	Output
<ul style="list-style-type: none">• Hydraulisch Systeemontwerp• Nood- en reguliere bedrijfsscenario's• Acceptatiecriteria (MAIP's)	Waterslag simulaties	<ul style="list-style-type: none">• Inzicht in dynamica van het systeem• Snelheid van manipulaties van pompen en kleppen• Noodzakelijke waterslagvoorzieningen

6.3 Aandachtspunten grondwatersysteem

6.3.1 Acceptatiecriteria

Tijdens de normale bedrijfsvoering dient de systeemdruk altijd groter te zijn dan de ontgassingsdruk van het grondwater en groter te zijn dan de atmosferische druk om luchtaanzuiging bij kleine lekkages te voorkomen.

Het verdient voorkeur dat ter plaatse van de OBES-TSA de druk aan de grondwaterzijde groter is dan de druk aan de netwerzijde van de TSA, zodat het water in het ZLT-P-WN niet in het grondwatersysteem kan komen bij lekkage in de TSA. Aan deze wens kan waarschijnlijk niet onder alle omstandigheden voldaan worden.

Als de drukklasse van het grondwatersysteem (incl. TSA) kortstondig vacuüm kan weerstaan, dan kan tijdens noodscenario's vacuüm toegelaten worden, mits de implosiedrukken kleiner blijven dan 3 bar. Bij een dergelijk scenario zal dan ook kortstondig ontgassing optreden, welke via een voorzichtige hertstart uitgedreven moet worden. De meeste kunststofsysteemen met een drukklasse van 7,5 bar of hoger zijn vacuümbestendig. Heeft het grondwatersysteem een lagere drukklasse dan dient de dynamische druk groter te blijven dan de minimaal toegelaten incidentele druk.

De maximale toegelaten incidentele druk is 1,15 keer de nominale drukklasse, wat een gangbare toeslag is op de maximale stationaire druk; zie bijvoorbeeld NEN 3650.

6.3.2 Scenario's en typische oplossingen

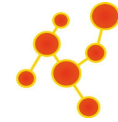
De volgende noodscenario's zijn relevant:

1. Stroomstoring met pomputval tot gevolg
2. Afsluiting van kleppen, bijvoorbeeld na constatering van een lekkage.

Een gangbare maatregel om de gevolgen van pomputval te beperken is het dimensioneren van een expansievat. Meestal wordt al een expansievat voorzien om kleine lekkages van de (zelfregelende) injectieventielen op te vangen en veelvuldige pompstart te voorkomen. Dit volume zou zodanig gekozen kunnen worden dat de gevolgen van pomputval acceptabel worden.

De snelheid van klepsturingen kan altijd zodanig ingesteld worden dat het sluiten van de kleppen tot acceptabele drukken leidt.

De volgende reguliere bedrijfsvoeringen kunnen getoetst worden, afhankelijk van de complexiteit van het grondwatersysteem:



1. Het stoppen en isoleren van het grondwatersysteem.
2. Het starten van het grondwatersysteem.
3. Een extreme toe- of afname in de warmte/koude vraag.
4. Het starten van het grondwatersysteem met luchtophoppingen bovenin (na een noodscenario of bij eerste inbedrijfstelling).
5. Bij meerdere doubletten in één systeem: overschakelscenario's van bronnen of TSA's.

De stop- en startprocedures moeten zodanig ingeregeld worden dat ontgassing niet optreedt; dus eerst de pomp starten en de injectieventielen pas laten regelen als de voordruk een bepaalde waarde boven de regelwaarde heeft bereikt. Met scenario 3 en de overschakelprocedures wordt bepaald hoe snel de injectieventielen en pompen moeten reageren op veranderingen in de warmte/koude vraag vanuit het netwerk. Ook hierbij moet de minimale systeemdruk groter blijven dan de ontgassingsdruk. De regelwaarde voor de systeemdruk moet dus voldoende marge hebben met de ontgassingsdruk om deze operationele variaties op te kunnen vangen.

Om lucht (na onderhoud) of ontsnapt vrij gas af te voeren, dient het grondwatersysteem ontluchters te bevatten. Deze dienen op de hoge punten gemonteerd te worden. Deze ontluchters dienen zo klein gedimensioneerd te worden dat de drukstoot na uitdrijven van de lucht acceptabel is, terwijl de systeemdruk groter is dan de ontgassingsdruk. Als de ontluchter(s) te groot gedimensioneerd zijn, dan kan de eerste (ongecontroleerde) start bij inbedrijfstelling tot een grote drukstoot leiden.

6.4 Aandachtspunten ZLT-P-WN

6.4.1 Acceptatie-criteria

Het ZLT-P-WN wordt zodanig ontworpen dat de systeemdrukken bij de TSA op woningniveau groter zijn dan de systeemdrukken op de TSA in de binneninstallatie, zodat het water-glycol niet in het netwerk kan komen. De systeemdrukken bij de OBES-TSA zijn bij voorkeur kleiner dan de systeemdrukken bij dezelfde TSA aan de grondwaterzijde, zodat het grondwater niet vervuild raakt met netwerkwater.

Tijdens de normale bedrijfsvoering dient de systeemdruk overal in het ZLT-P-WN altijd groter te zijn dan atmosferische druk om luchtaanzuiging bij kleine lekkages te voorkomen.

Als de drukklasse van het ZLT-P-WN kortstondig vacuüm kan weerstaan, dan kan tijdens noodscenario's vacuüm toegelaten worden, mits de implosiedrukken kleiner blijven dan 3 bar. De meeste kunststofsysteemen met een drukklasse van 7,5 bar of hoger zijn vacuümbestendig. Heeft het netwerk een lagere drukklasse dan dient de dynamische druk groter te blijven dan de minimaal toegelaten incidentele druk van het netwerk.

De maximale toegelaten incidentele druk is 1,15 keer de nominale drukklasse, wat een gangbare toeslag is op de maximale stationaire druk; zie bijvoorbeeld NEN 3650.

6.4.2 Scenario's en typische oplossingen

De volgende noodscenario's zijn relevant:

1. Algehele pompuitval, bijvoorbeeld door stroomstoring.
2. Bewuste pompuitval bij het ontwerpdebiet tijdens afnametesten; deze kan kritischer zijn dan een pompuitval bij een verdeling van het debiet over het gehele netwerk.

3. Bij meerpompsbedrijf: Uitval van enkele pomp aan netwerzijde van de OBES-TSA.
4. Sluiting van een sectioneringsklep, bijvoorbeeld na detectie van lekkage of voor onderhoud.

Voor een ZLT-P-WN dient de nadruk gelegd te worden op pompen van de OBES-installatie aan de netwerzijde van de OBES-TSA. De pompen bij de woning TSA zijn van ondergeschikt belang voor deze waterslaganalyse.

Het doel van scenario 2 is om de specificaties van de terugslagkleppen te bepalen.

Om de drukken in het netwerk te stabiliseren en thermische expansie op te vangen zijn expansievaten voorzien in de warme en koude leidingen. Deze expansievaten kunnen ook gedimensioneerd worden om de drukken tijdens pompuitval te beheersen.

De sluiting van sectioneringskleppen bij maximaal debiet dient voldoende traag uitgevoerd te worden dat de dynamische drukken toelaatbaar blijven.

De volgende reguliere bedrijfsvoeringen kunnen getoetst worden, afhankelijk van de complexiteit van het grondwatersysteem:

1. Het stoppen van de netwerzijde OBES-pompen.
2. Het starten van de netwerzijde OBES-pompen.
3. Een extreme toe- of afname in de warmte/koude vraag
 - a. Bijvoorbeeld plotselinge daling van PVT productie door een langsdrijvende wolk.
 - b. Een toe- of afname door een grote afnemer in het netwerk.
4. Het starten van het ZLT-P-WN met luchtophoppingen (na een noodscenario of bij eerste inbedrijfstelling).
5. Bij meerdere netwerzijde OBES-pompen: overschakelscenario's met deze pompen.
6. Andere scenario's die in specifieke netwerken tot veranderingen in stroomsnelheden kunnen leiden.

In principe dient de ontwerper als een advocaat van de duivel deze scenario's te bedenken, te analyseren en passende maatregelen met hardware of regeltechniek te ontwerpen. Indien een combinatie van omstandigheden een kleine kans van optreden heeft, kan er bewust voor de gekozen worden om het systeem niet op een dergelijke samenloop van omstandigheden te ontwerpen. Voor inspiratie van mogelijke scenario's, zie appendix C2.2 van de NEN 3650-1:2019.

7 Ontwerp van regelsystemen

Bij het ontwerp van een regeling dienen alle onderdelen meegenomen te worden, onder alle relevante condities. Thermo-hydraulische componenten en regelementen. Hierbij wordt het gebruik van simulatie software sterk aangeraden. (Schmidt & Kallert, 2017, p. h4.5.2.).

In dit hoofdstuk worden de relevante ontwerpstappen voor een regelsysteem beschreven aan de hand van het regelsysteemontwerp voor het Ramplaankwartier. De gekozen temperatuursetpoints zijn specifiek voor het Ramplaankwartier, de rest van het ontwerpproces is toepasbaar op ZLT-P-WN systemen in het algemeen.

7.1 Definitie regeltoestanden

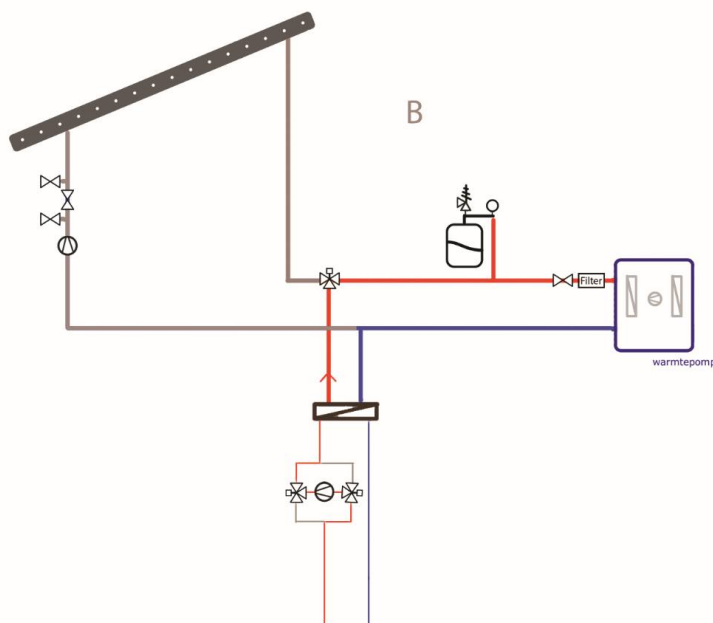
De eerste stap in het ontwerp van een regelsysteem is het definiëren van de regeltoestanden.

Voor dit ZLT-P-WN zijn de volgende toestanden geïdentificeerd:

- A. Alles uit
- B. Net levert aan warmtepomp (Net → warmtepomp)
- C. PVT en het net leveren aan warmtepomp (PVT + Net → warmtepomp)
- D. Stand-alone (PVT → warmtepomp)
- E. PVT levert aan het net en de warmtepomp (PVT → Net + warmtepomp)
- F. PVT levert aan het net (PVT -> Net)

Toestand B is gedefinieerd als een typische wintersituatie. De PVT panelen leveren geen warmte, dus de warmtevraag wordt volledig geleverd door het warmtenet (en dus de OBES).

De installatie ziet er rond de woning dan als volgt uit, zie Figuur 7-1:



Figuur 7-1 Hydraulische weergave van een toestand B, een typische wintersituatie

De rode lijn en pijl laten zien hoe warm water uit de warmteleiding van het warmtenet, indien nodig ook uit het buffervat, naar de verdamperkant van de warmtepomp stroomt. De blauwe lijn geeft aan hoe koud water weer terugstroomt naar de koudeleiding van het warmtenet. De netpomp en warmtepomp staan dan ook aan, en de PVT, pomp van de PVT en mengklep staan uit.

De schema's van de andere regeltoestanden staan in bijlage B.

De huisinstallatie heeft 5 actieve regelende componenten. Onderstaande tabellen laten zien hoe de regelende componenten in de verschillende toestanden functioneren en op welke meetvariabelen de actieve componenten gestuurd worden. De genoemde pomp van de warmtepomp, is de pomp aan de verdamperzijde van de warmtepomp. Voor de een overzicht van de verschillende componenten, zie Figuur 7-2.

Tabel 7-1: Overzicht van de verschillende toestanden en de bijbehorende functionering van de regelende componenten

Toestand	Pomp warmtepomp	PVT pomp	Netpomp	Mengklep	TSA (netlevering)
A	Uit	Uit	Uit	Uit	Uit
B	Aan	Uit	Aan	PVT-zijde dicht	Warmte
C	Aan	Uit	Aan	Mengend	Warmte
D	Aan	Uit	Uit	Net-zijde dicht	Uit
E	Aan	Aan	Aan	Mengend	Koude
F	Uit	Aan	Aan	WP-zijde dicht	Koude

Tabel 7-2: Overzicht van de meetvariabelen en streefwaarden waarop de actieve componenten gestuurd worden

Actieve component	Meetvariabele	Actief in toestanden	Streefwaarde sturende variabele*
Pomp warmtepomp (Verdamperzijde)	Temperatuurverschil met begrenzing op retourtemperatuur	B, C, D, E	$\Delta T_{WP} = 7 \text{ }^\circ\text{C}$ met retourtemperatuur tussen $5,5 \text{ }^\circ\text{C}$ en $13 \text{ }^\circ\text{C}$
Netpomp	Temperatuurverschil (netzijdig)	B, C, E, F	$\Delta T_{Net} = 7 \text{ }^\circ\text{C}$
PVT pomp	Uitgaande PVT temperatuur	E, F	$T_{stor} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
Mengklep	C: Temperatuurverschil tussen uitgaande PVT ($T_{PVT,uit}$) temp en bron-temperatuur ($T_{br,uit}$) E: Beide richtingen open houden	C, E	$\Delta T_{MK} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$
TSA (netlevering)	Toestands-indicator	Warmtelevering: B, C Koudelevering: E, F	N.v.t.

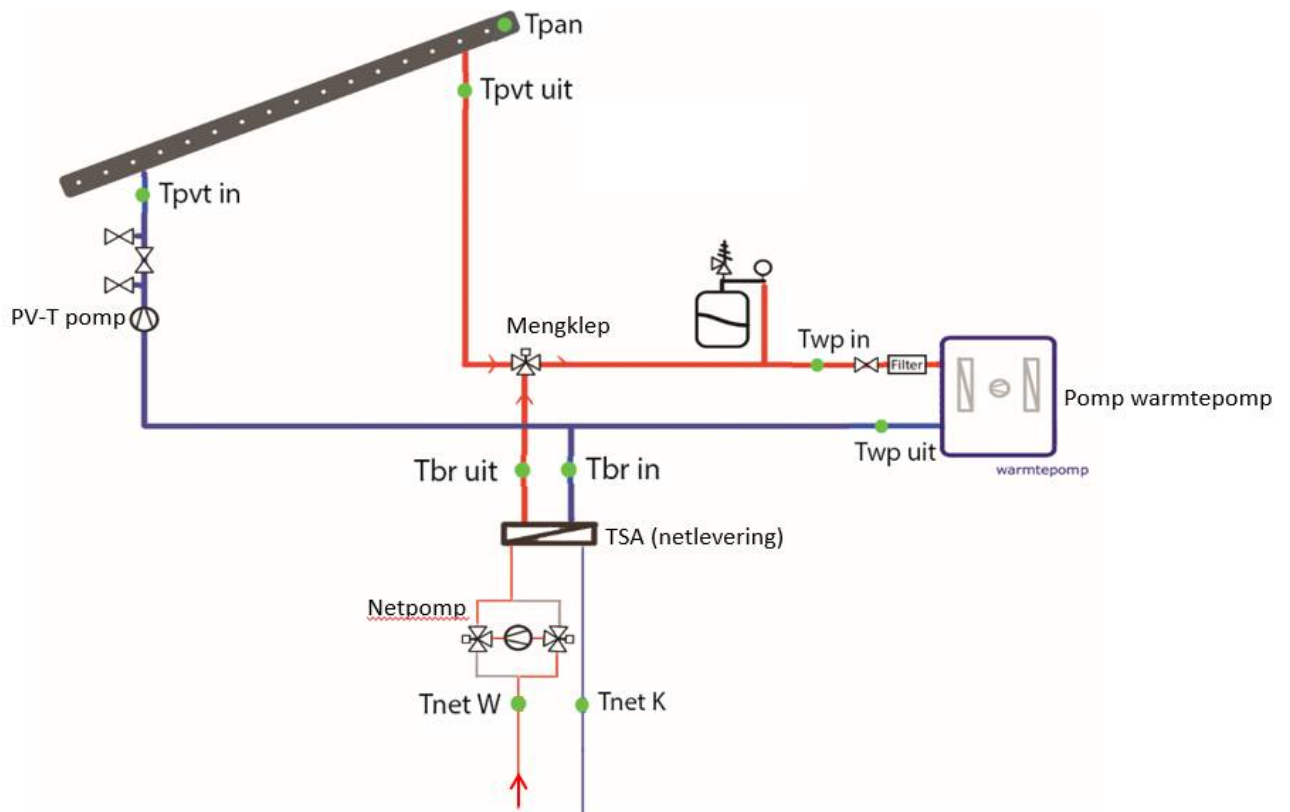
* Deze streefwaarden dienen de jaarlijkse energiebalans te waarborgen, zie paragraaf 3.5

Mengklep staat in toestanden B, D en F in vaste posities, waarbij de PVT leiding, respectievelijk bronleiding en warmtepomp-leiding afgesloten zijn.

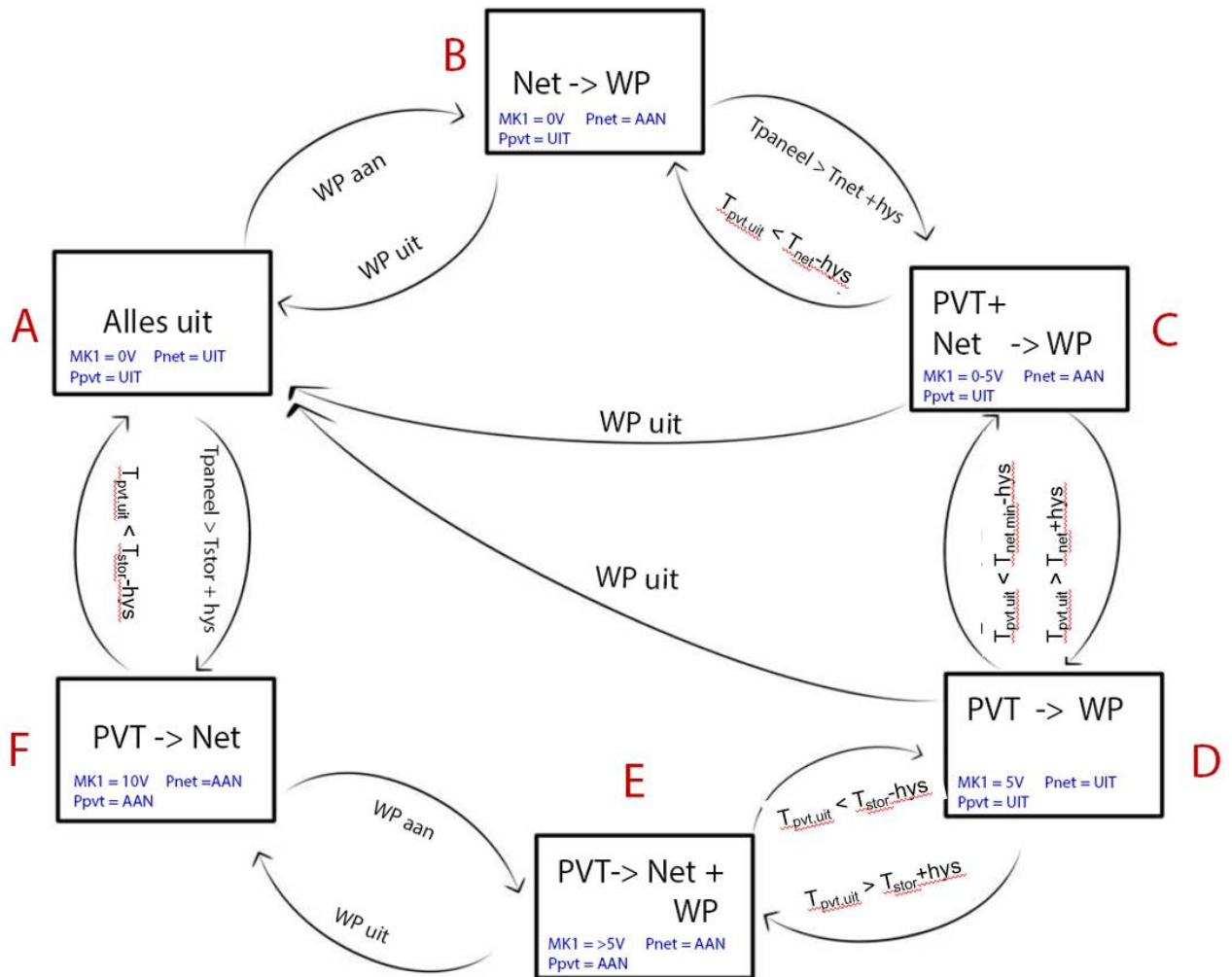
7.2 Definitie van de overgangen tussen regeltoestanden

De volgende ontwerpstep is het definiëren onder welke condities of voorwaarden het systeem over moet gaan van de ene naar de andere regeltoestanden. Figuur 7-3 geeft deze overgangen grafisch weer. Figuur 7-2 en tabel 7.3 verduidelijken de gebruikte parameters en hun waarden in het schema in Figuur 7-3.

Ter voorbeeld, de overgang van B naar C. Als de temperatuur bij de uitstroom van de PVT groter is dan de temperatuur in de warme leiding van het warmtenet (+ hysteresis), wordt de PVT bijgeschakeld als warmtebron. Het PVT paneel gaat aan (pompwerking gebeurt via de netpomp) en de mengklep gaat open.



Figuur 7-2 Overzicht van de gebruikte termen en symbolen voor de verschillende temperaturen en hydraulische componenten

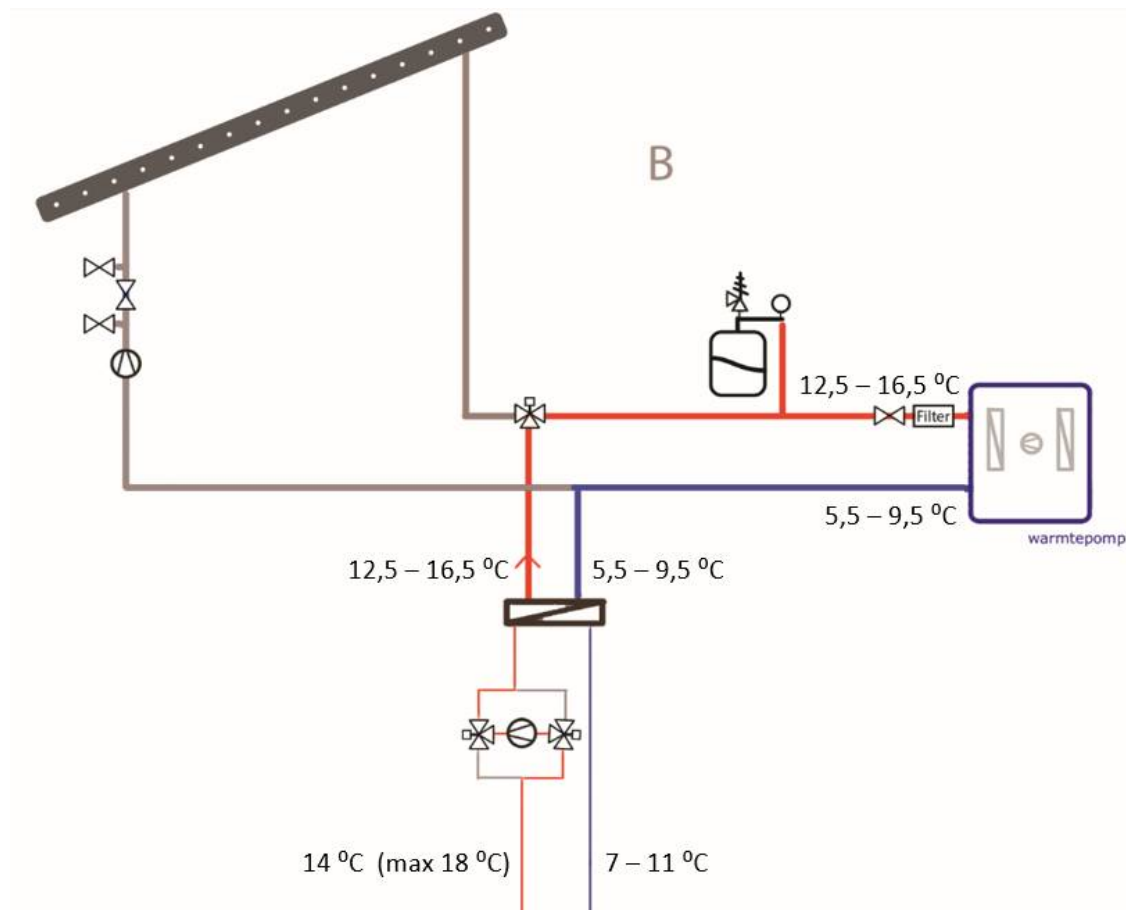


Figuur 7-3: Grafische weergave van de overgangen tussen regeltoestanden

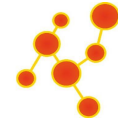
Bij alle overgangen met PVT-levering wordt de overgang bepaald door de uitstroomtemperatuur van de PVT-panelen (TPVT,uit). Maar als de PVT uit staat, dan is deze temperatuur niet betrouwbaar, daarom wordt in deze toestanden Tpan gebruikt, zijnde een representatieve paneel temperatuur. Voor het in- en uitschakelen van de PVT panelen en de netpomp dient een minimale draaitijd aangehouden te worden, die voldoende lang is om opstarteffecten kwijt te raken en een representatieve temperatuur vanuit het netwerk en de PVT panelen te kunnen meten. Het in- en uitschakelen van de warmtepomp dient direct uitgevoerd te worden.

Voor de verschillende regeltoestanden en overgangen zijn verschillende temperaturen en temperatuurovergangen gedefinieerd. Voor toestand B gelden de volgende gebruikelijke temperaturen en temperatuur bereiken (Figuur 7-4). Met een ontwerp-temperatuurverschil op de warmtewisselaar tussen het warmtenet en de huisinstallatie van 1,75 °C en halve graad temperatuurverlies in de ondergrond, ontstaat een temperatuur-range van 4 °C in het warmtenet. In de zomer leveren de PVT panelen een temperatuur van 20 °C, deze wordt via de warmtewisselaar overgedragen aan het netwerk op 18,25 °C. Dit is de hoogste temperatuur, die bij 's zomers tapwatergebruik aan de burens via het warmtenet geleverd kan worden op 16,5 °C in de huisinstallatie. De ingevangen zomerwarmte wordt in de

OBES opgeslagen, die ook met een warmtewisselaar gescheiden is van het warmtenet. Het uitgangspunt is immers dat het grondwater een onvoldoende stabiele kwaliteit heeft dat het grondwater ook door het warmtenet en alle afleversets kan stromen. De OBES-warmtewisselaar heeft ook een (aangenomen) temperatuursprong van 1,75 °C, waardoor de warmte opgeslagen wordt met 16,5 °C in het grondwater. Een klein deel van de warmte wordt verloren in de ondergrond. Dus nemen we even aan dat het grondwater 16 °C is in de winter. Bij warmtelevering in de winter (toestand B), wordt de warmte van het grondwater overgedragen aan het warmtenet, waarbij het leidingwater een temperatuur krijgt van 14,25 °C. Hiermee bedraagt de temperatuur range in de warme leiding afgerond 14 °C – 18 °C. Tenslotte treedt bij de afleverset nog een keer een temperatuursprong op, waarbij de temperatuur in de warmtepomp 12,5 °C zal bedragen. Hiermee kan de aanvoertemperatuur voor de warmtepomp variëren tussen 12,5 °C en 16,5 °C. Bij deellast situaties zullen alle temperatuursprongen over de warmtewisselaars kleiner zijn. Met een ontwerp-temperatuursprong van 7 °C voor de warmtepomp en de PVT panelen liggen de temperatuur-ranges in de koude leidingen steeds 7 °C lager.



Figuur 7-4: Temperatuur(bereiken) in toestand B



Tabel 7.3 geeft een overzicht van de gebruikte symbolen en hun waarden.

Tabel 7.3: Overzicht van de gebruikte symbolen en hun waarden

Symbool	Type	Waarde/range in Ramplaankwartier met Triple Solar panelen	Omschrijving
T_{stor}	Instelwaarde	20 °C	Instelbare temperatuur vanuit PVT, waarbij voldoende warmte-opslag in de OBES gehaald kan worden om de jaarbalans te bereiken.
$T_{net,min}$	Instelwaarde	12,5 °C	Deze instelwaarde is relevant voor toestand D (Stand-alone)
WP_ΔT	Instelwaarde	7 °C	Basissetpoint regeling warmtepomp
Range WP_retour	Instelwaarde	5,5 °C – 13 °C	De WP wordt gestuurd op een vaste ΔT met begrenzing op retourtemperatuur tussen waarden.
Hys	Instelwaarde	1 °C	Hysterese
T_{pan}	Variabele meetwaarde	12,5 °C, Max 25 °C	
$T_{PVT, in}$	Variabele meetwaarde	C: 5,5 °C – 9,5 °C D: 5,5 °C – 13 °C E: 13 °C F: 13 °C	
$T_{PVT, uit}$	Variabele meetwaarde	C: 12,5 °C – 16,5 °C D: 12,5 °C – 20 °C E: 20 °C (max 25 °C) F: 20 °C (max 25 °C)	T_{max}
$T_{WP, in}$	Variabele meetwaarde	B: 12,5 °C – 16,5 °C C: 12,5 °C – 16,5 °C D: 12,5 °C – 20 °C E: 20 °C (max 25 °C)	
$T_{WP, uit}$	Variabele meetwaarde	B: 5,5 °C – 9,5 °C C: 5,5 °C – 9,5 °C D: 5,5 °C – 13 °C E: 13 °C	
$T_{br, in}$	Variabele meetwaarde	B: 5,5 °C – 9,5 °C C: 5,5 °C – 9,5 °C E: 13 °C F: 13 °C	
$T_{br, uit}$	Variabele meetwaarde	B: 12,5 °C – 16,5 °C C: 12,5 °C – 16,5 °C E: 20 °C (max 25 °C) F: 20 °C (max 25 °C)	
$T_{net, warm}$	Variabele meetwaarde	B: 14 °C (max 18 °C) C: 14 °C (max 18 °C) E: 18 °C (max 23 °C) F: 18 °C (max 23 °C)	

$T_{net,koud}$	Variabele meetwaarde	B: 7 °C – 11 °C C: 7 °C – 11 °C E: 11 °C F: 11 °C	
----------------	----------------------	--	--

De parameter $T_{net,min}$ wordt bepaald door de minimale temperatuur, die volgens het ontwerp uit het net geleverd kan worden. In stand-alone bedrijfsvoering (toestand D) moet stand-alone doorgedraaid worden totdat de PVT panelen deze temperatuur niet meer kunnen produceren. Pas dan weten we zeker dat het netwerk bijgeschakeld moet worden. Deze relatief lage instelling voorkomt onnodig pendelen tussen toestanden C en D.

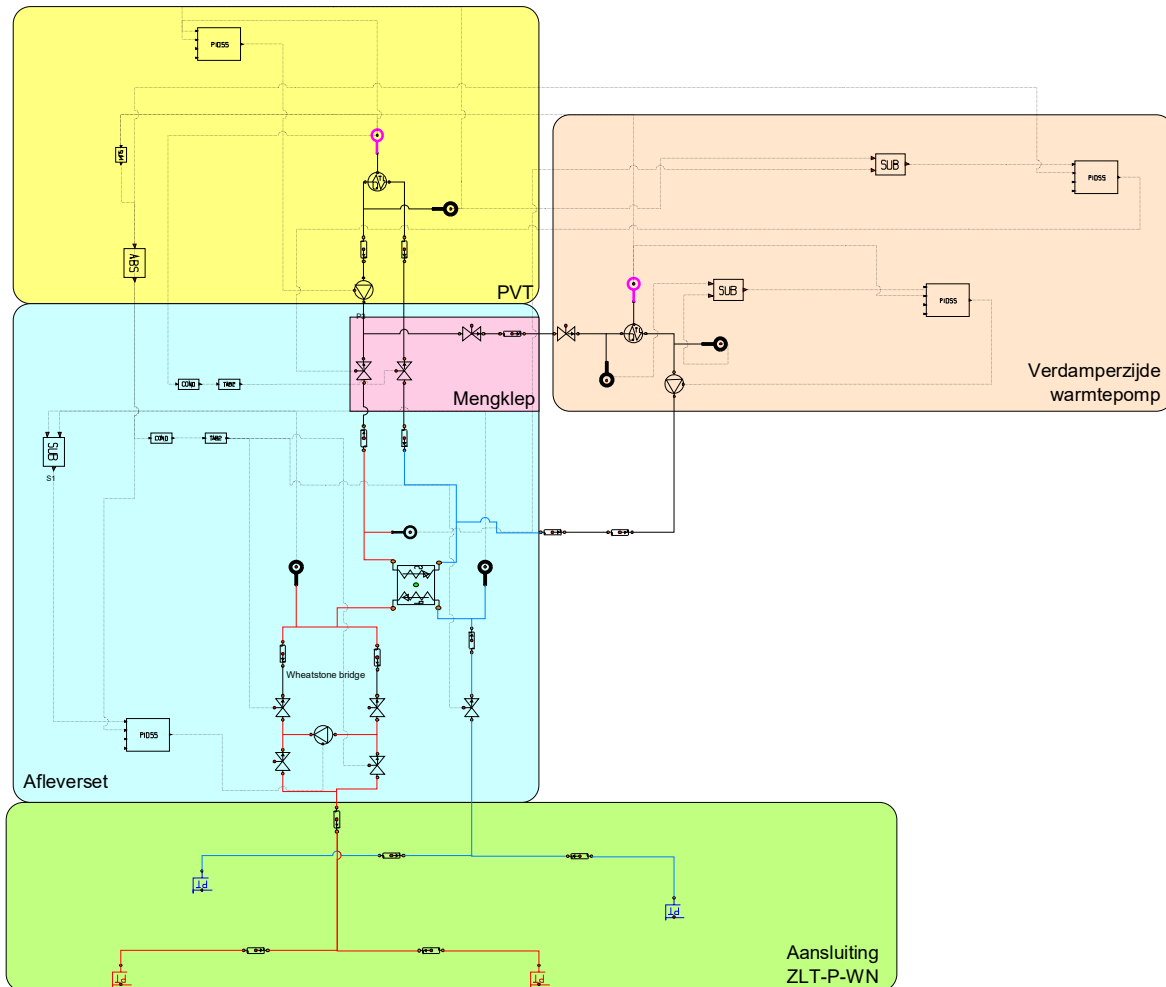
De waarden van de in te stellen parameters zijn bepaald op basis van de thermische analyse van de woningen (hoofdstuk 3) en hangen af van de warmtevraag van de woningen, het type en aantal PVT panelen op de daken. Deze instelwaarden de bijbehorende ranges van de variabelen zijn daardoor wijk specifiek.

- Regel-mogelijkheden om seizoensvariatie op te vangen:
 - Bij een grote thermische onbalans dient het zomer-setpoint (T_{stor}) verlaagd te worden. Zo wordt meer warmte van lagere kwaliteit opgeslagen. Alleen in deze situatie toepassen omdat deze temperatuurverlaging een relatief groot effect heeft op de SPF, de warmtepompen hebben meer energie nodig
 - Indien er teveel warmte is opgeslagen kan de parameter T_{stor} verhoogd worden, zodat minder warmte met iets hogere temperatuur in de OBES opgeslagen wordt en de warmtepomp zuiniger kan draaien
- Bij een klein(ere) thermische onbalans kan in toestand D (alleen PVT) de minimum nettemperatuur ($T_{net,min}$) verlaagd worden.
 De OBES-beheerder zou dit bij voorkeur op afstand voor alle woningen moeten kunnen aanpassen

7.3 Stabiliteit van regelingen

De stabiliteit van de regeling is gericht op de ongewenste interacties in de afleverset (tussen PVT-panelen, warmtepomp en de aansluiting op het netwerk) enerzijds en tussen naburige afleversets anderzijds. De verschillende pompen (PVT paneel, warmtepomp, net) moeten in principe zo snel mogelijk van toerental veranderen, maar niet zo snel dat het optoeren van pompen of in- en uitschakelen van pompen zoveel dynamiek veroorzaakt dat het lang duurt voordat de nieuwe stabiele toestand bereikt wordt. Als een ontwerper de stabiliteit van de regeling wil toetsen, dan moet een bepaalde overgang binnen een bepaalde tijd met acceptabele afwijking van het setpoint gerealiseerd worden; zie het voorbeeld voor het Ramplaankwartier.

Figuur 7-5 beschrijft de basis voor het toetsen van de stabiliteit van de regelingen. Deze figuur staat ook uitvergroot in Appendix B.



Figuur 7-5: Schema voor simulatie van stabiliteitstoets. De doorgetrokken lijnen (zwart, rood, blauw) bevatten hydraulische componenten, leidingen en sensoren. De gestippelde lijnen zijn signaal-lijnen van sensoren naar regelblokken (regeltechnische functies) en van de regelblokken naar de actieve componenten (pompen en mengklep)

Het hydraulische en regeltechnische schema, gemodelleerd in WANDA Heat, bevat de benodigde hydraulische schakelingen, kleppen en pompen in de aflerverset en typische leidinglengtes:

- Aansluiting met het netwerk, 2 x 15m
- Lengte binnen PVT 12 m
- Lengte naar en terug van PVT, 2 x 1m
- Lengte naar en terug van WP, 2 x 1.5m

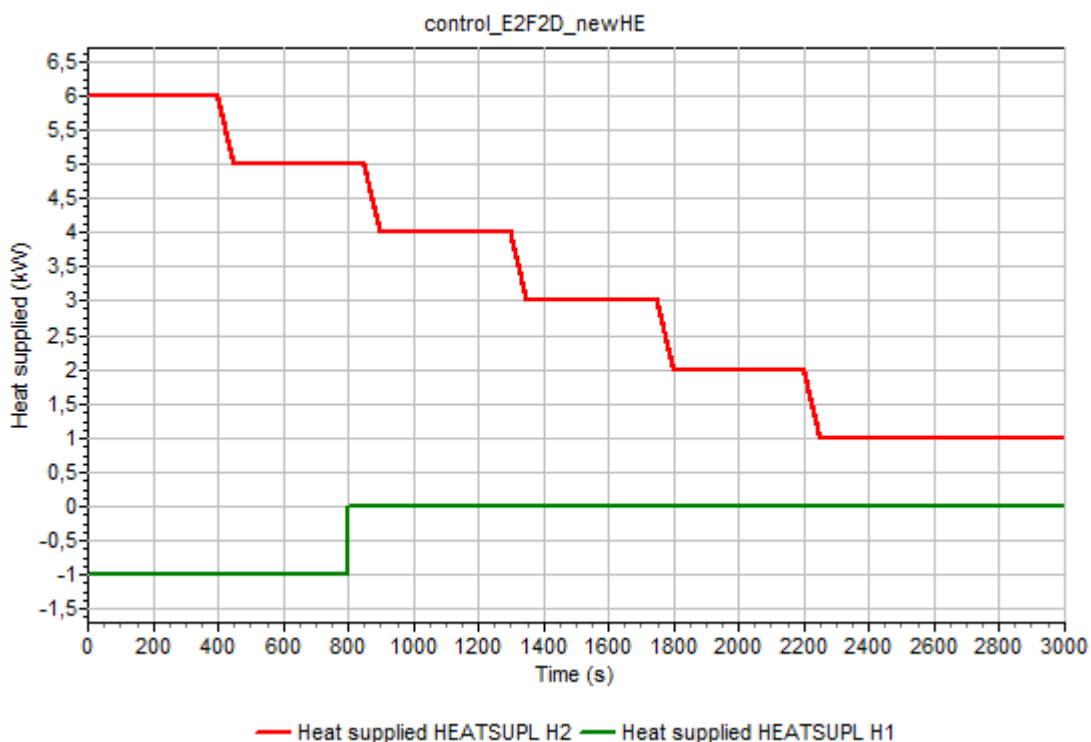
We zijn er hierbij vanuit gegaan dat de aflerverset en de warmtepomp ter plaatse van de huidige CV-installatie op zolder geïnstalleerd zullen worden.

Voor het Ramplaankwartier zijn stabilisatietoetsen uitgevoerd voor verschillende overgangen tussen regeltoestanden. Deltares heeft voor de meest kritische situatie, dat wil zeggen voor de standaard

aansluitmaat van de woningen (DN = 25 mm) en de kleinste straatleidingdiameter (DN = 25 mm) simulaties gedraaid met WANDA Heat + Control, van de toestandsovergangen waarbij het warmtenet wordt ingeschakeld, uitgeschakeld of bijgesteld.

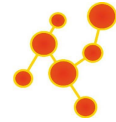
Deze toetsen zijn nu uitgevoerd op huisniveau, om de stabiliteit van de regelingen in de afleverset te toetsen. Hiernaast wordt aangeraden om ook toetsen op wijkniveau uit te voeren in de uitwerking van het detail-ontwerp. Hierbij dient gekeken te worden naar de situatie waarbij de productie van PVT panelen plotseling terugvalt (omdat er ineens wolken voor de zon trekken) en de OBES pompen deze terugval in warmte teruglevering moeten volgen. In dit scenario zal het debiet van alle huizen min of meer tegelijkertijd terugvallen, er dient getoetst te worden hoe de regeling van de OBES pompen deze situatie opvangen.

Ter illustratie wordt hier de stabiliteitstoets beschreven voor de overgang van toestand E naar toestand F. In toestand E, waar de productie van het PVT paneel groter is dan de warmtebehoefte van het huis, wordt het warmteoverschot aan het ZLT-netwerk geleverd voor naburige huizen of opslag in de OBES. In toestand F wordt alleen aan het net geleverd, hiertoe gaat de warmtepomp uit en de kleppen stroomopwaarts van de warmtepomp gaan dicht. Het scenario wordt gedefinieerd in Figuur 7-6.

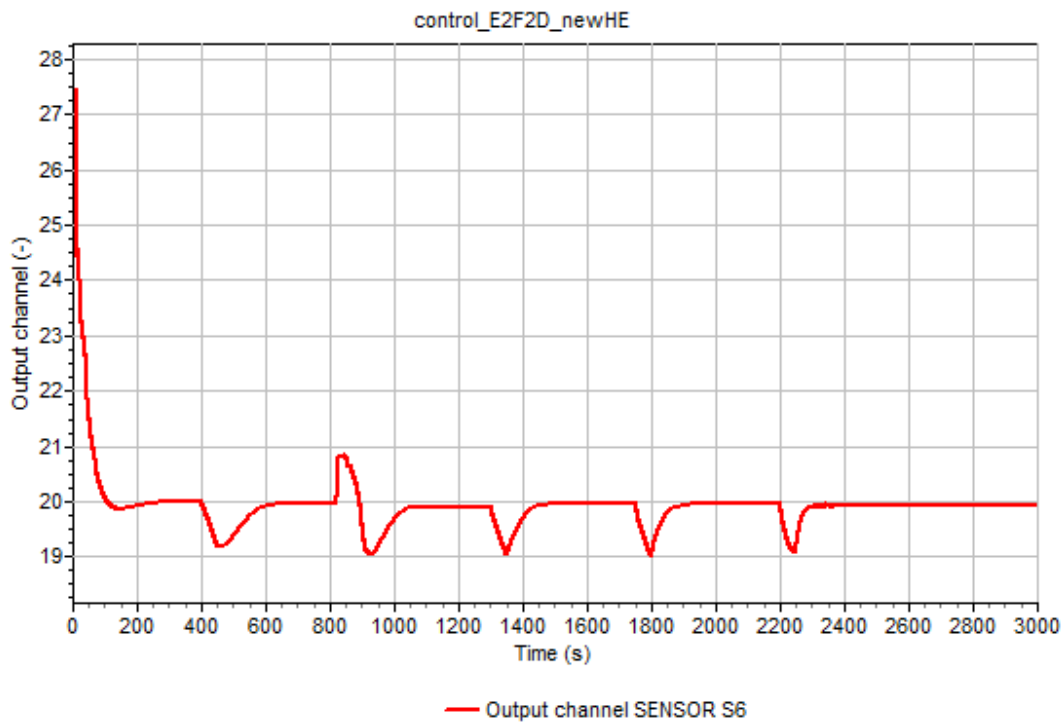


Figuur 7-6: Stabiliteitsscenario voor overgang van toestand E naar F. De rode lijn simuleert een stapsgewijze snelle daling in de warmtelevering. De groene lijn toont de warmtevraag van de warmtepomp, die na 800 s abrupt stopt, waarna alle warmtelevering vanuit de PVT-panelen aan het ZLT-netwerk geleverd wordt.

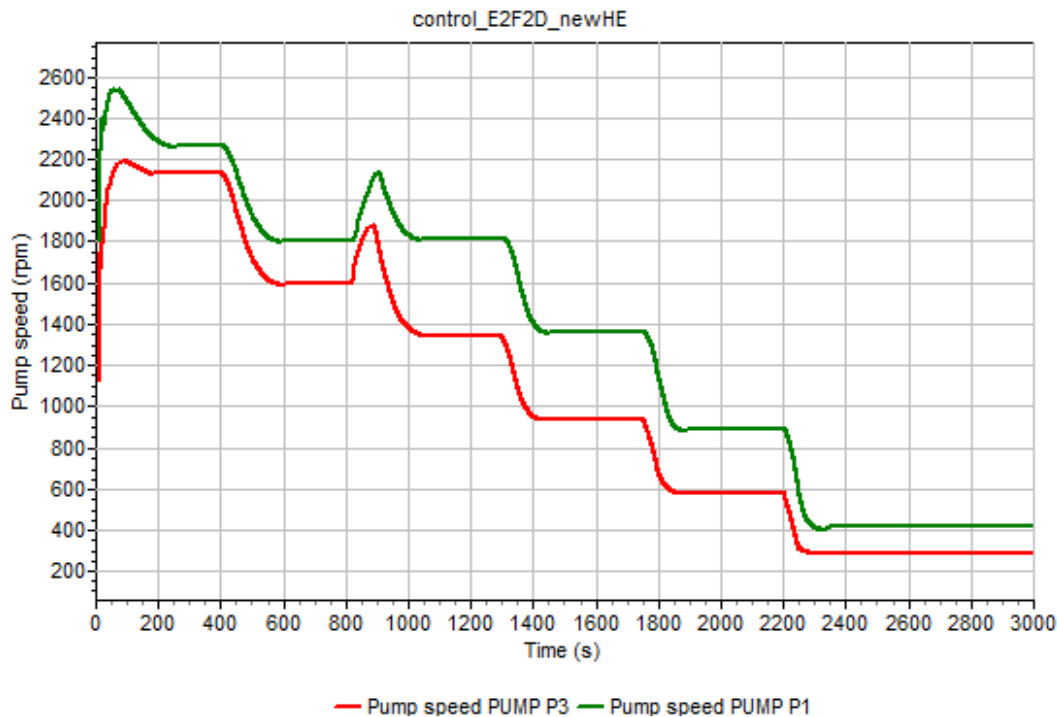
De setpoint temperatuur aan de uitstroom van het PVT paneel ($T_{PVT,uit}$) is 20°C en verloopt met de opgelegde sprongen in warmtelevering en warmtevraag (Figuur 7-7). De eerste 200 s in deze figuur



kunnen genegeerd worden, omdat het model niet in evenwicht is in de initiële toestand op $t = 0$ s. Bij elke sprong in het PVT-vermogen, treedt gedurende maximaal 200 s een onbalans van maximaal 1 °C op, waarna de toerenregeling de PVT-temperatuur terug regelt naar de streefwaarde van 20 °C. Na 800 s stopt de vraag van de warmtepomp en moeten de netpomp en PVT-pomp harder gaan draaien om de wegvallende warmtevraag van de warmtepomp op te vangen en de warmte naar het ZLT-netwerk te transporteren. Ook deze overgangen worden soepel opgevangen door de regelingen. De bijbehorende toerentallen van de PVT-pomp en de netwerk-pomp staan in Figuur 7-8.



Figuur 7-7: PVT-temperatuurverloop tijdens scenario van toestand E naar F



Figuur 7-8: pomptoerentallen van PVT-pomp en netwerkpomp tijdens scenario E – F

Bovenstaande figuren laten zien dat de regelingen met de gekozen instellingen tot een acceptabel en stabiel regelgedrag van de afleverset leiden.

Op vergelijkbare wijze is de stabiliteit gesimuleerd van overgangen tussen toestanden B, C, D en E.

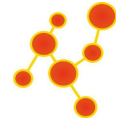
Deze resultaten zijn verkregen met de regelstrategie, zoals uitgewerkt in dit hoofdstuk, en met de volgende instellingen voor de actieve regelcomponenten.

Tabel 7-3: Instellingen regelparameters van de pompen in de afleverset

Regelparameter	Eenheid	Netwerk pomp	PVT pomp	Pomp verdamperzijde warmtepomp
Versterkingsfactor	[rpm/°C]	80	80	80
Integratie tijdconstante	[s]	12	12	12
Maximum Op/aftoersnelheid	[rpm/s]	30	30	30

Tabel 7-4: Instellingen regelparameters van de mengklep in de afleverset

Regelparameter	Eenheid	PI controller mengklep
Versterkingsfactor	[%/°C]	-0.1
Integratie tijdconstante	[s]	0.25
Maximale klepsnelheid	[%/s]	1.0



De verwachting is dat deze regelinstellingen voor afleversets breed bruikbaar zijn. Aangezien de stabiliteit voor de meest kritische situatie in woonwijken is onderzocht, zijn deze instellingen ook bruikbaar voor andere woonwijken en grotere gebouwen, waarbij de diameterverhouding tussen aansluitleiding en straatleiding groter is dan 32/25. Mocht niet aan deze verhouding voldaan worden, dan wordt een WANDA simulatie aangeraden.

Aangezien wijkspecifieke regelinstellingen nog niet zijn meegenomen in de stabiliteitstoets, wordt aanbevolen om de wijkspecifieke regelinstellingen van de OBES-pompen te toetsen bij de verdere uitwerking van het detail-ontwerp voor een specifieke woonwijk.

8 Review integraal systeemontwerp

In de inleiding van hoofdstuk twee is benadrukt dat het ontwerpproces van een ZLT-P-WN een integraal en soms iteratief proces is. Het ontwerpproces kan niet opgeknipt worden in een aantal deelontwerpen die zelfstandig uitgevoerd worden. De consequenties van gemaakte keuzes op de rest van het systeem moeten constant in de gaten gehouden worden.

Het is verstandig om aan het eind van het ontwerpproces het gehele systeemontwerp met enkele experts uit verschillende kennisdisciplines te controleren. Zo wordt getoetst of het systeemontwerp aan de verschillende aspecten voldoet. (Tukker, Kooij, Pothof, & Clemens, 2012, p. vol.48).

Twee belangrijke voorbeelden hiervan worden hier benoemd.

1) Bij het ontwerp van de PVT-panelen wordt het aantal panelen en de operationele temperatuursetpoints bepaald, om de jaarlijkse energie behoefte te kunnen genereren en daarmee de jaarlijkse thermische balans te behouden. Hier worden dus de uitvoertemperatuur van de PVT-panelen bepaald.

- Bij een grote thermische onbalans dient het zomer-setpoint van deze uitvoertemperatuur verlaagd te worden. Zo wordt meer warmte van lagere kwaliteit opgeslagen. Dit leidt echter tot een lagere aanvoertemperatuur naar de warmtepomp, wat een negatief effect op de COP van de warmtepomp en daarmee de SPF heeft
- Indien er teveel warmte is opgeslagen kan deze uitvoertemperatuur verhoogd worden, zodat minder warmte met hogere temperatuur wordt opgeslagen. Dit leidt tot een hogere aanvoertemperatuur naar de warmtepomp, wat een positief effect op de COP van de warmtepomp en daarmee de SPF heeft

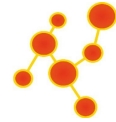
De uitvoertemperatuur van de PVT panelen heeft weer invloed op de temperaturen en leidingdiameters in distributiecircuit.

Ook beïnvloedt de uitvoertemperatuur van de PVT-panelen de opslagtemperatuur in het OBES. De opslagtemperatuur in het OBES heeft weer invloed op:

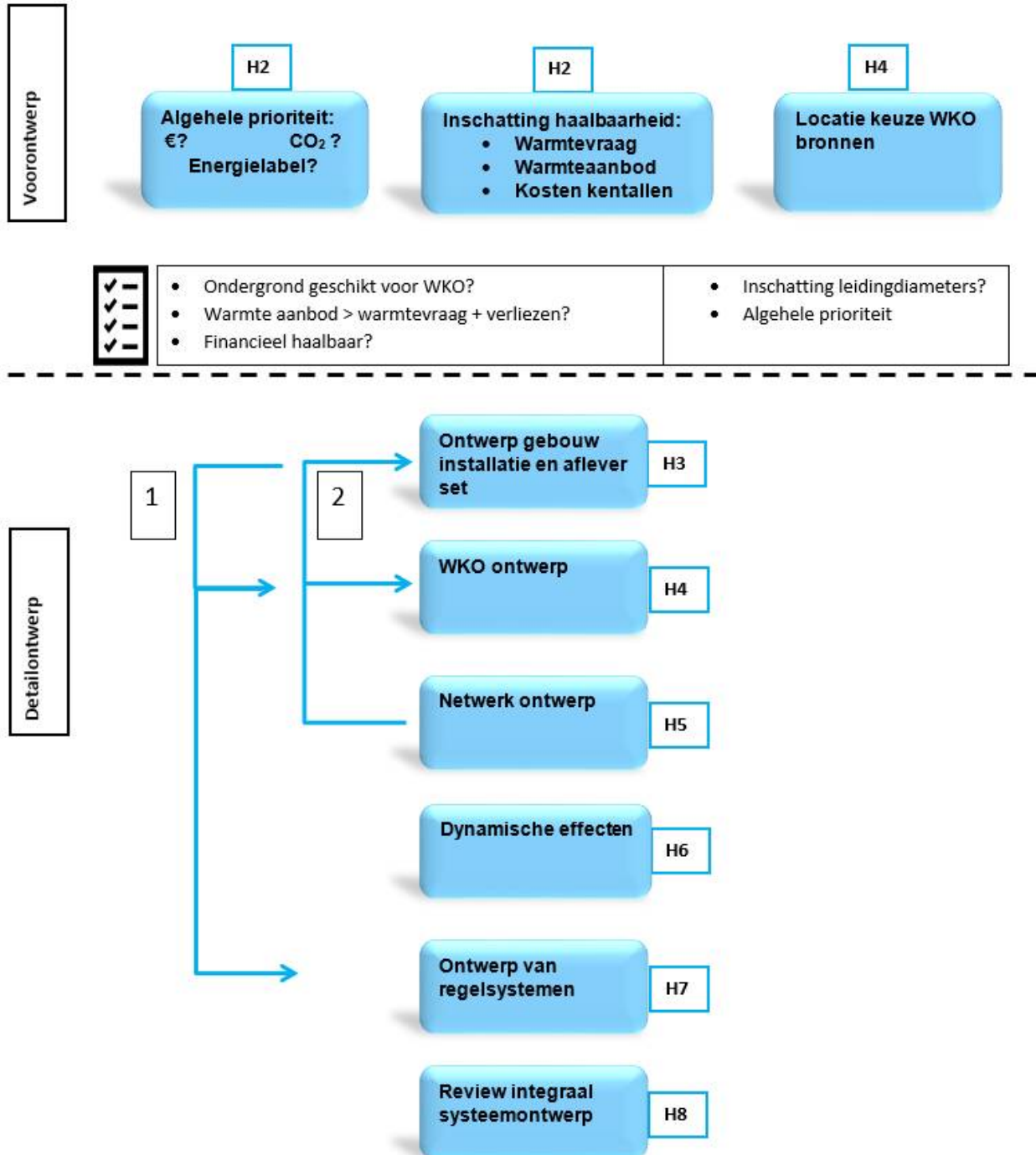
- Het opslag volume in de ondergrond
- Het maximaal te injecteren debiet
- Leidingdiameters van het OBES-circuit

2) Bij het ontwerpen van het distributiecircuit, worden twee zaken bepaald die invloed hebben op de eerder bepaalde jaarlijkse energievraag:

- De hoeveelheid vermazingen in het netwerk. Hoe meer vermazingen, hoe betrouwbaarder het netwerk is bij vervanging van leidingen in geval van lekkage. Meer vermazingen leidt echter tot een grotere leidinglengte en daardoor meer warmteverlies. Dit leidt weer tot een grotere jaarlijkse energievraag en meer benodigde PVT-warmte.
- Mate van isolatie van de leidingen, de dikte van de aangelegde isolatie of het wel of niet isoleren van de koudeleiding. Hoe minder isolatie, hoe lager de kosten. Minder isolatie leidt echter ook weer tot meer warmteverlies, een grotere jaarlijkse energievraag en meer benodigde PVT-warmte.



De twee bovengenoemde voorbeelden zijn grafisch weergegeven in Figuur 8-1, met de genummerde pijlen 1 en 2.



Figuur 8-1: Iteraties in het integrale (detail)ontwerp

De ISO 39 (ISO, 2015) geeft algemene handvaten voor het testen van de totaalinstallatie (paragraaf 22.4) en hieruit volgende feedback naar de ontwerpfase (paragraaf 22.5). Zo dient de ontwerper bijvoorbeeld een compleet beeld te hebben van wat er herzien moet worden en waarom, geen 'trial and

error' toe te passen. Ook dient het ontwerp voldoende gedocumenteerd te worden. Voorbeelden van concrete (technische) aspecten:

- Voldoet de installatie aan de energie- en vermogensvraag?
- Worden de gespecificeerde temperaturen en debieten, stabiel geleverd?
- Zijn de schakelvolgordes correct en wordt veelvoudig aan- en uitschakelen van hoofdcomponenten vermeden?

Ook het Besluit Bodemenergie uit 2013 stelt eisen aan het functioneren van het integrale systeem(ontwerp) (Nederlanden, 2013).

Een van de belangrijkste aspecten van het integrale systeemontwerp is de thermische balans in de ondergrond. Deze komt in de navolgende paragraaf aan bod.

8.1 Thermische onbalans

De thermische balans in een ZLT-P-WN systeem geeft aan of er in de zomer genoeg warmte wordt opgeslagen in de ondergrond om in de andere seizoenen aan de warmtevraag te kunnen voldoen. In eerste instantie moet toezicht gehouden worden op de thermische (on)balans. Volgens het Besluit Bodemenergie is een basismonitoring hiervan verplicht, daartoe zijn dan ook monitoringstools beschikbaar. Naast basismonitoring wordt aangeraden om een monitoringstool te gebruiken die de thermische (on)balans kan simuleren en/of voorspellen.

In een installatie waar de PVT panelen de warmtebron vormen, moeten PVT panelen dus ook ingezet worden om eventuele onbalans te herstellen. Hiertoe worden de instelparameters voor de sturing van de PVT panelen bijgesteld; deze instellingen zijn bij voorkeur op afstand aan te passen door de OBES-beheerder voor alle aangesloten woningen (zie ook paragraaf 7.2).

Indien er teveel warmte is opgeslagen kan de parameter T_{stor} verhoogd worden, zodat minder warmte met iets hogere temperatuur in de OBES opgeslagen wordt en de warmtepomp zuiniger kan draaien.

Indien er te weinig warmte is opgeslagen, dan moet T_{stor} naar beneden bijgesteld worden, zodat er meer warmte van lagere kwaliteit opgeslagen kan worden. Dit betekent dat de warmtepompen wat meer energie nodig hebben. Indien er maar in geringe mate te weinig warmte wordt opgeslagen, kan in toestand D (alleen PVT) de minimum nettemperatuur ($T_{net,min}$) verlaagd worden.

9 Oplevering van het ZLT-P-WN

Voor de oplevering van een ZLT-P-WN worden handvaten en/of verplichtingen benoemd in bijvoorbeeld het Besluit Bodemenergie 2013 (Nederlanden, 2013) de ISSO 39 (ISSO, 2017), H22 en het CAPWAT handboek (Tukker, Kooij, Pothof, & Clemens, 2012), H8. Tijdens en na de opleveringen is het belangrijk om de installatie componenten en de integrale installatie te testen en documenteren.

Aanbevolen scenario's, die bij oplevering getoetst kunnen worden, verschillen per leidingsysteem. In de paragraaf 9.1 t/m 9.3 worden een aantal voorbeelden genoemd.

9.1 Binneninstallatie

1. Zie ISSO 107 voor kwaliteitseisen
2. Test van maximale volumestromen in bedrijfstoestanden B, D en F; zie ook hoofdstuk 7

De regelingen kunnen niet volledig bij oplevering getoetst worden, omdat niet alle randvoorwaarden bij oplevering vervuld kunnen worden. De enige randvoorwaarde, die direct ingesteld kan worden is de warmtepomp. Deze kan geactiveerd worden door warm tapwater te tappen, waarna warmte vanuit de PVT of het netwerk geleverd moet gaan worden. Deze overgang kan bij oplevering getoetst worden door te controleren of de juiste schakelingen in de afleverset geactiveerd worden.

9.2 ZLT-P-WN

1. Zie ISSO 39 voor kwaliteitseisen
2. Test van maximale volumestromen of werkpunten van de netwerzijdige OBES-pompen
3. Uitval van deze pompen bij het ontwerp debiet
4. Sluiten van een sectioneringsafsluiter

Ervan uitgaande dat bij oplevering van het netwerk er nog geen woningen warmte of koude afnemen, moet scenario 2 getoetst worden door op verschillende locaties achterin het netwerk by-passes open te zetten, zodat beoordeeld kan worden of de netwerzijdige OBES-pompen de vereiste werkpunten kunnen halen in de geïnstalleerde situatie.

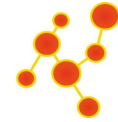
Indien scenario 3 wordt uitgevoerd bij oplevering met openstaande by-pass kleppen, dan kunnen de drukvariaties groter zijn dan bij daadwerkelijk gebruik door de aangesloten woningen. Daarom dient dit scenario getoetst te worden in het ontwerp en eventueel met een wat lager debiet uitgevoerd te worden.

9.3 OBES en grondwatersysteem

- 1) Zie ISSO 39 voor kwaliteitseisen
- 2) Test van maximale volumestromen van de grondwaterpompen
- 3) Uitval van deze pompen bij het ontwerp debiet
- 4) Gecontroleerde stop en isolatie van het grondwatersysteem
- 5) Druktest gedurende 10 of 24 uur, waarbij de druk niet te meer dan (bijvoorbeeld) 1 mwk mag dalen.

10 Bronnenlijst

- AHN. (2017, May). *Actueel hoogte bestand Nederland*. Opgehaald van www.ahn.nl
- Best, I., Orozaliev, J., & Vajen, K. (2018). Impact of Different Design Guidelines on the Total Distribution Costs of 4th Generation District Heating Networks. *16th International Symposium on District Heating and Cooling*.
- Bloemendal, M., Jaxa-Rozen, M., & Olsthoorn, T. (2018). Methods for planning of the ATES systems. *Applied Energy*, vol.216.
- Clarke, J. (2001). *Energy Simulation in Building Design*.
- DOE. (2018). *EnergyPlus*. Retrieved from EnergyPlus.
- Gasser, L., Fluck, S., Kleingries, M., Meier, C., Batschmann, M., & Wellig, B. (2017). High efficiency heat pumps for low temperature lift applications. *12th IEA Heat Pump Conference*.
- ISSO. (2015). ISSO-publicatie 107: Opleverprocedure klimaatinstallaties en de overdracht naar beheer.
- ISSO. (2017). ISSO-publicatie 39: Energiecentrale met warmte- en koudeopslag (wko).
- Jansen, S., Mohammadi, S., & van den Dobbelen, A. (n.d.). *SUI mini network Guidelines for developing SUI energy concepts*.
- Keijzer, P. d. (2018). Warmte- en koudesystemen in Nederland.
- Klein, S. e. (2017). *TRNSYS 18: A Transient System Simulation Program*. Opgehaald van Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin.
- Lund, H. W. (2017). 4th Generation District Heating: Integrating smart thermal grids into future sustainable energy. *Energy*.
- Nederlanden, S. v. (2013). Besluit van 25 maart 2013 tot wijziging van een aantal algemene maatregelen van bestuur in verband met regels inzake bodemenergiesystemen en enkele technische verbeteringen.
- Olsen, P. K. (2014). Guidelines for Low - Temperature District Heating. *EUDP Project Journal*, vol.64010-0479.
- Pothof, I., & Karney, B. (2012). Guidelines for Transient Analysis in Water Transmission and Distribution. <https://www.intechopen.com/books/water-supply-system-analysis-selected-topics/guidelines-for-transient-analysis-in-water-transmission-and-distribution-systems> .
- Quaschnig, V. (2016). *Understanding Renewable Energy Systems*.
- Schmidt, S., & Kallert, A. (2017). Annex TS1, Low Temperature District Heating for Future Energy Systems.
- SIKB. (2018). BRL/protocol 11.000. Ontwerp, aanleg en beheer van bodemenergiesystemen. Gouda, SIKB. 11.000.



TNO, U. (2017). REGIS II.

Tukker, M., Kooij, K., Pothof, I., & Clemens, F. (2012). *Hydraulisch ontwerp en beheer afvalwatertransportsystemen*. Amersfoort: StoWa.

Vela Solaris AG. (2020, June). Opgehaald van Velasolaris: <https://www.velasolaris.com/software-overview/?lang=en>

Willems, E. (2017). Slagvaardig ontwikkelen van lokale laagtemperatuur warmtenetten.

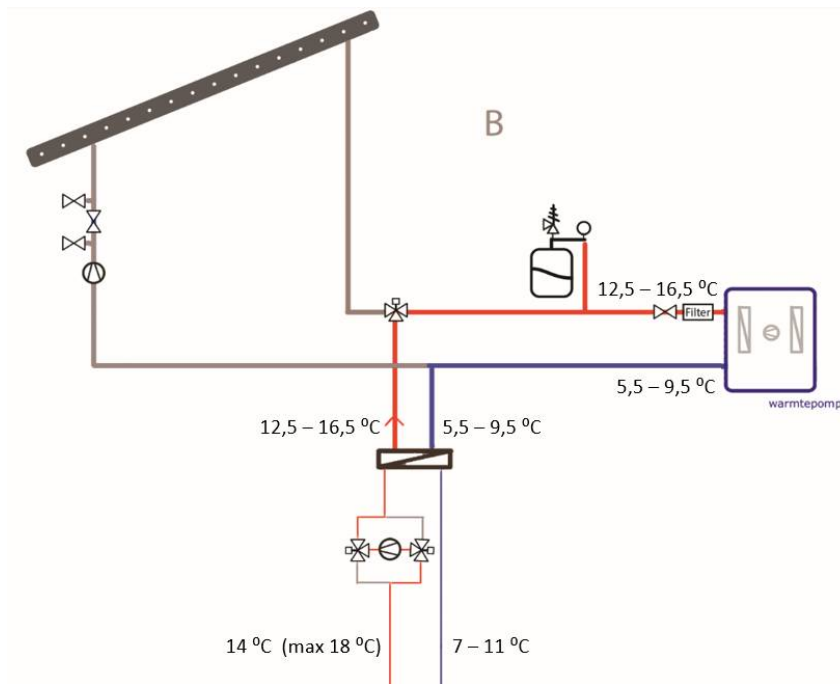
Yang, X., Li, H., & Svendsen, S. (2016). Evaluations of different domestic hot water preparing methods with ultra-low-temperature district heating. *Energy*, 248-259.

Yang, X., Li, H., & Svendsen, S. (2016). Evaluations of different domestic hot water preparing methods with ultra-low-temperature district heating. *Energy*, vol.109, p248-259.

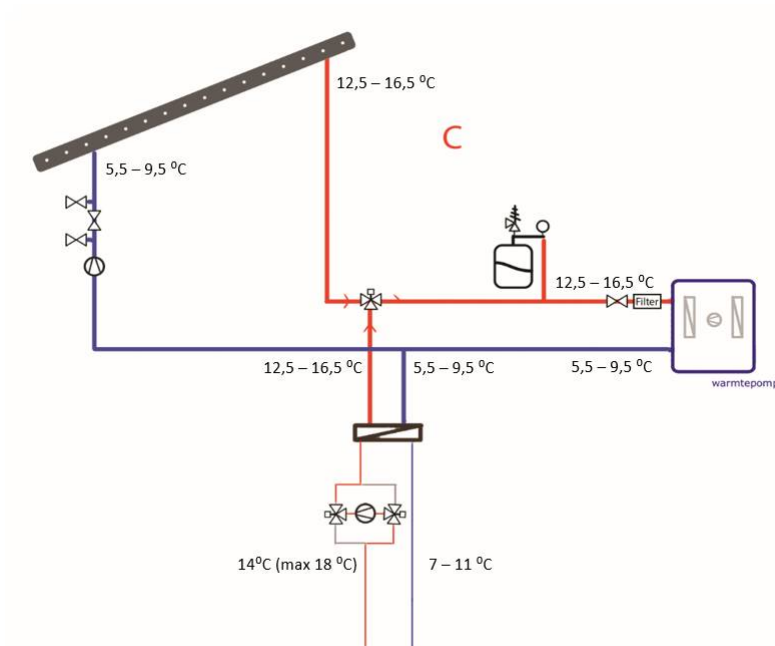
11 Appendices

A Schema's van de regeltoestanden

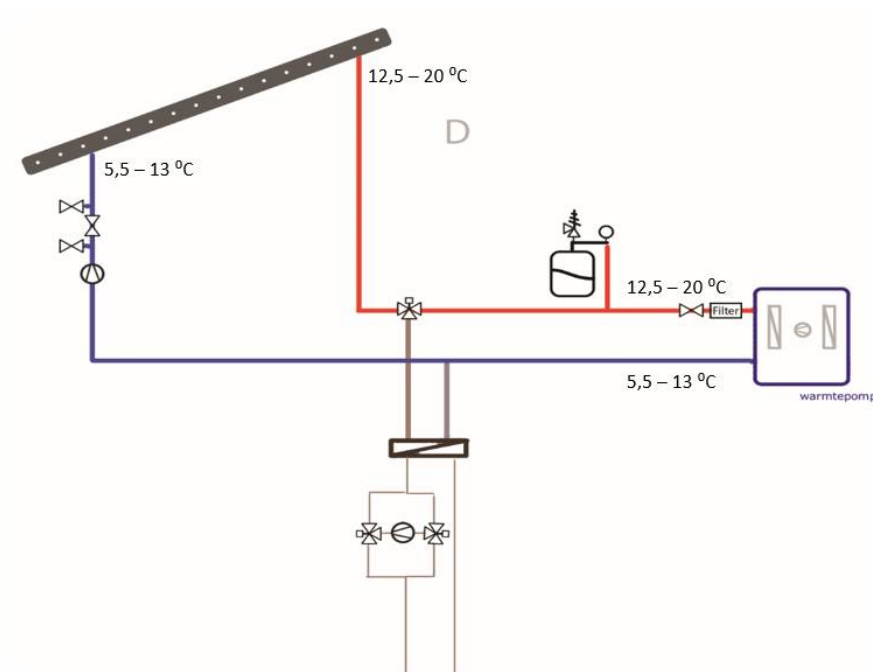
B: Net -> warmtepomp



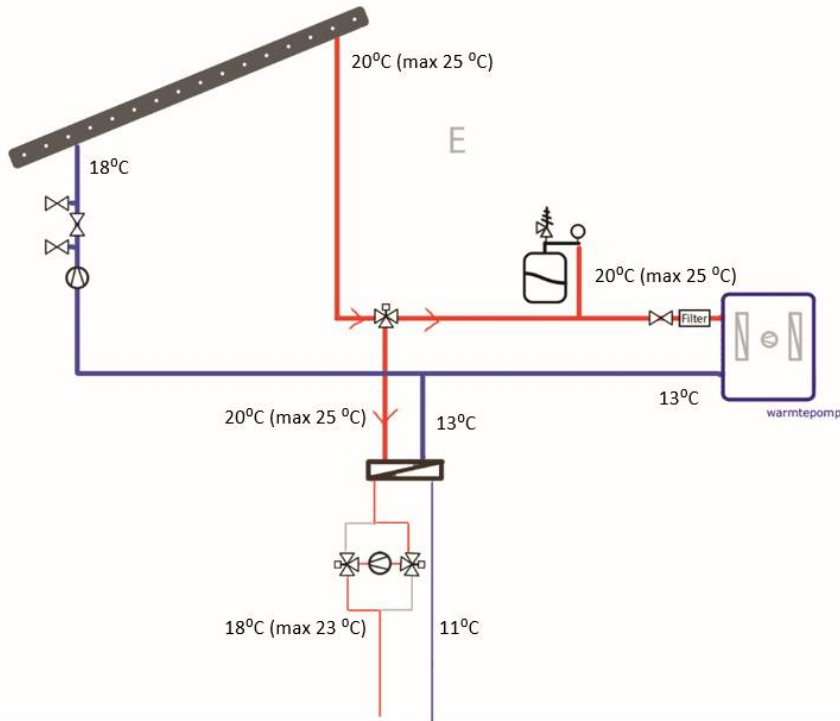
C: PVT + Net -> warmtepomp



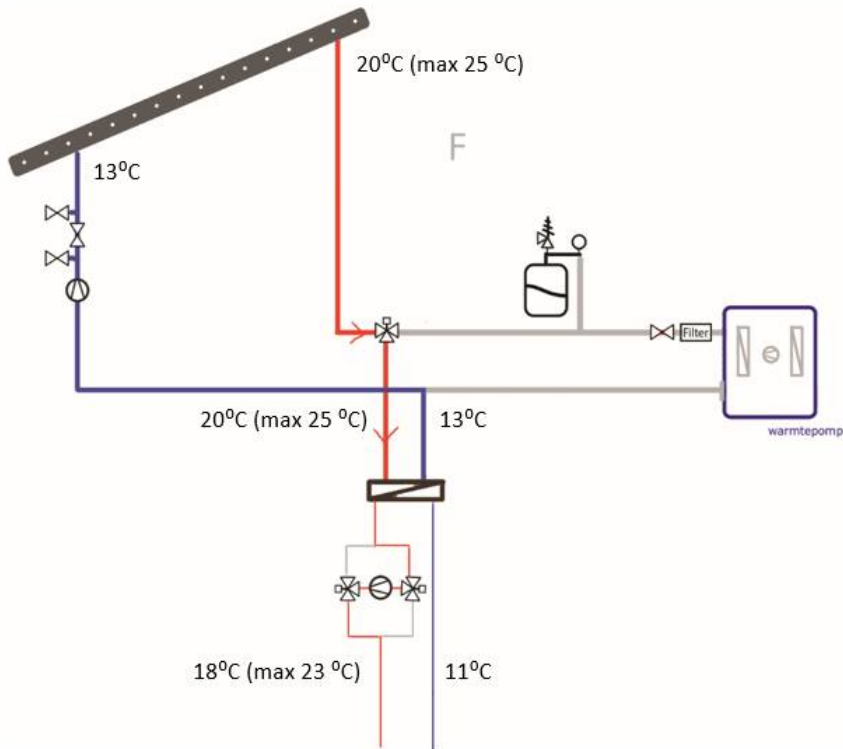
D: PVT -> warmtepomp

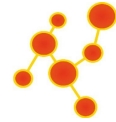


E: PVT -> Net + warmtepomp



F: PVT -> Net





B Netwerkconfiguratie

