



Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.tno.nl

T 055 549 34 93

F 055 549 98 37

TNO-rapport

2007-A-R1070/B

**Beoordeling SV-project Weideveld te
Bodegraven**

Datum	oktober 2007
Auteur(s)	J. van Wolferen
Projectnummer	034-78803
Trefwoorden	– energieprestatie – Legionella – leidingwater – stadsverwarming – koeling – warmte/koudeopslag
Opdrachtgever	Oasen drinkwater t.a.v. Arie Haasnoot Postbus 122 2800 AC Gouda
Aantal pagina's	26
Aantal bijlagen	2

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoekopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

Samenvatting

In opdracht van Oasen geeft TNO een beoordeling van het ontwerp van het stadsverwarmingsproject Weideveld te Bodegraven ten aanzien van de volgende aspecten:

- Energieprestatie voor verwarming, warmtapwater en koeling
- Volksgezondheid t.a.v. Legionella en verbrandingsrisico t.g.v. warmwater.
- Functionele aspecten:
 - drukregime en regelbaarheid van warm en koud water
 - duurzaamheid van de leidingnetwerken i.v.m. de hoge grondwaterstand.

Om deze vragen te beantwoorden wil Oasen het door Nuon beoogde systeem en vier door Oasen geselecteerde referentiesystemen onderling vergelijken voor de genoemde aspecten.

Oasen heeft van Nuon een set gegevens ontvangen per brief van 25 mei 2007 met vier bijlagen. Daarnaast zijn gegevens verkregen uit het “standaard bestek meetinrichting” van Nuon. Naar aanleiding van aanvullende vragen van Oasen heeft Nuon per brief van 16 augustus 2007 aanvullende gegevens verstrekt.

Energieprestatie

Uitgaande van de gegevens van Nuon, aangevuld met gegevens uit de EPN en andere literatuur, luiden de *voorlopige* conclusies ten aanzien van de energieprestatie (hier cijfermatig voor de hoge warmtevraag):

- Het Nuon systeem heeft, op basis van de Nuon gegevens, een zeer laag energiegebruik ten opzichte van de traditionele HR ketel (26000 vs 42000 MJ/jaar).
- Het Nuon-systeem is echter gevoelig voor de verliezen van het distributiesysteem. Nuon lijkt hiervoor te hoge waarden te hanteren. Als met minder gunstige gegevens wordt gerekend stijgt het energiegebruik naar 34000 MJ/jaar. Nauwelijks beter dan de beste HR ketels met een energiegebruik van 36000 MJ/jaar.
- Als microWKK toestellen over enige jaren beschikbaar komen kan daarmee een energiegebruik van 35000 -30000 MJ/jaar worden bereikt, waarmee de prestatie van het Nuon systeem wordt benaderd. Maar zowel de ketels als microWKK hebben geen koelfunctie.
- Met individuele warmtepompen kan een energiegebruik van 32000 – 26000 MJ/jaar worden bereikt. Hiermee kan tevens vrij worden gekoeld. Deze systemen zijn qua energieprestatie goed vergelijkbaar met het Nuon systeem,
- Als het Nuon systeem wordt aangepast tot een systeem met afleverset en zonder circulatieleiding voor warmtapwater stijgt het energiegebruik naar 37000 MJ/jaar; vooral door het lagere opwekrendement (COP) van de warmtepomp voor verwarming. Dit is een energetisch minder gunstig systeem dan het nu voorgestelde Nuon systeem.

Kortom: op basis van de gegevens van Nuon is het Nuon-systeem energetisch het beste, hooguit vergelijkbaar met de beste individuele warmtepompsystemen. Het systeemrendement lijkt echter te hoog ingeschat. Bij lagere waarden voor het systeemrendement zijn andere systemen (de beste HR ketels, in de nabije toekomst microWKK) energetisch vergelijkbaar.

Legionellaveiligheid

Op basis van de gegevens van Nuon luidt de conclusie dat het systeem op Legionella-veilige wijze kan worden aangelegd conform de geldende richtlijnen. De volgende aspecten zijn door Nuon vastgelegd:

- Inrichting van de meterkasten volgens NEN 2768.
- In gestapelde bouw dienen de stijgleidingen te worden geïsoleerd; ook bij de doorvoeren door vloeren en wanden. Tevens worden de stijgleidingen in een gescheiden schacht t.o.v. het drinkwater aangebracht.

Op de volgende punten is nog onvoldoende bekend of zijn de antwoorden van Nuon nog onvoldoende duidelijk:

- In het warmwatercircuit van Nuon zijn de volgende voorzieningen vereist:
 - Mogelijkheid tot inregeling van de volumestroom door de deelringen.
 - Temperatuurmeting op de retour van elke deelring (Nuon stelt: “meest verafgelegen punt”)
 - De temperatuur op de retour van elke deelring dient minimaal 60°C te zijn bij normaal bedrijf (dit gaat iets verder dan de eis van Nuon van 60°C aan het laatste tappunt)

Overigens is de correcte uitvoering van het ontwerp van groot belang.

Daarnaast heeft Nuon aangegeven een beheersplan op te stellen en beheersmaatregelen uit te voeren t.a.v. waterkwaliteit en watertemperaturen.

Voorkomen verbrandingsrisico

Uit de informatie van Nuon blijkt dat men een voorziening tegen verbrandingsrisico's toepast. Een dergelijke voorziening is vereist omdat bij centrale warmtapwaterlevering de druk van bijvoorbeeld het koude drinkwater kan wegvallen terwijl de druk op het warmtapwater intact blijft, wat vooral bij douchen een verbrandingsrisico oplevert.

Regelbaarheid warm en koud tapwater

Op basis van de nu beschikbare gegevens van Nuon luidt de conclusie dat een goed instelbare en stabiele mengtemperatuur op de gebruikspunten van de woningen onzeker is.

Voor goed instelbare en stabiele mengtemperatuur is het volgende vereist:

- Stabiele temperatuur warmtapwater
Nuon verzorgt een warmtapwater temperatuur tussen 60°C en 65°C met een variatie van minder dan 3K. De vraag is hoe snel dergelijke variaties kunnen optreden.
- Stabiele druk warmtapwater
Nuon levert warmtapwater bij een druk tussen 200 kPa en 600 kPa. Als tijdens tapwatergebruik de druk varieert tussen deze uitersten dan is een stabiele temperatuurregeling niet mogelijk zonder aanvullende voorzieningen. Nuon stelt dat binnen de woning de druk vrijwel constant is en daarmee niet veel zal afwijken van de koudwaterdruk.

In aanvulling hierop kunnen de woningen worden voorzien van mengkranen die de drukverschillen en –veranderingen compenseren. Ook in de toekomst dienen bewoners bij installatieaanpassingen dergelijke voorzieningen aan te schaffen. Dit heeft een kostenverhoging voor bewoners tot gevolg ten opzichte van systemen met warmtapwaterbereiding in de woning.

- Geen grote overdruk warmtapwater
Bij grote overdruk aan de warme zijde is toepassing van keerkleppen aan de koude zijde vereist om terugstroming van warmwater in het drinkwaternet te voorkomen. In het vorige punt is reeds aangegeven dat Nuon geen grote overdruk voorziet.

Duurzaamheid leidingnetwerk i.v.m. grondwater

Volgens de gegevens van Nuon worden de leidingen in een sleuf op 1 meter diepte gelegd en is het grondwaterpeil eveneens 1 meter onder het maaiveld. Hierdoor kan de situatie ontstaan dat de leidingen deels en/of een deel van de tijd in natte grond liggen. In principe bestaat hierbij het risico dat op langere termijn de isolatie met water wordt gevuld. Als dat gebeurt gaat de isolatiewaarde achteruit, waardoor de energieprestatie van het gehele systeem ernstig wordt aangetast.

Nuon heeft in de brief met aanvullende gegevens aangegeven zich van dit risico bewust te zijn en stelt dat waterdichte isolatie afdoende is.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1 Inleiding	6
2 Beschikbare gegevens Nuon	7
2.1 Karakterisering van de wijk Weideveld:.....	7
2.2 Ontwerpgegevens woningen.....	7
2.3 Verbruiksgegevens.....	8
2.4 Distributiesysteem	8
2.5 Warmte- en koudeopwekking	9
2.6 Specifieke eisen ten aanzien van de warmtapwaterlevering	9
2.7 Grondwater	10
3 Beoordeling beschikbare gegevens	11
3.1 Energieprestatie voor verwarming	11
3.2 Energieprestatie voor warmtapwater	12
3.3 Energieprestatie voor koeling	12
3.4 Volksgezondheid t.a.v. Legionella.....	13
3.5 Volksgezondheid t.a.v. verbrandingsrisico t.g.v. warmwater	14
3.6 Functionele aspecten: drukregime en regelbaarheid van warm en koud water.....	15
3.7 Functionele aspecten: duurzaamheid van de leidingnetwerken i.v.m. de hoge grondwaterstand	15
4 Energieprestatie	16
5 Conclusies en aanbevelingen	19
5.1 Energieprestatie	19
5.2 Legionellaveiligheid	20
5.3 Voorkomen verbrandingsrisico.....	20
5.4 Regelbaarheid warm en koud tapwater.....	20
5.5 Duurzaamheid leidingnetwerk i.v.m. grondwater.....	21
6 Referenties	22
7 Verantwoording	23
Bijlagen	
1 Berekening systeemrendement	
2 Energieprestatie	

1 Inleiding

In opdracht van Oasen geeft TNO een beoordeling van het ontwerp van het stadsverwarmingsproject Weideveld te Bodegraven ten aanzien van de volgende aspecten:

- Energieprestatie voor verwarming, warmtapwater en koeling
- Volksgezondheid t.a.v. Legionella en verbrandingsrisico t.g.v. warmwater.
- Functionele aspecten:
 - drukregime en regelbaarheid van warm en koud water
 - duurzaamheid van de leidingnetwerken i.v.m. de hoge grondwaterstand.

Om deze vragen te beantwoorden wil Oasen het door Nuon beoogde systeem en vier door Oasen geselecteerde referentiesystemen onderling vergelijken voor de genoemde aspecten. De referentiesystemen zijn:

- Een HT-CV-installatie met combi-HR-107 ketel met HRww label voor warmtapwater. Voor koeling wordt hier uitgegaan van een systeem met een COP van 3.
- Dezelfde installatie, voorzien van een HRe microWKK toestel (twee prestatieniveaus). Dergelijke systemen zijn nu nog niet op de markt maar kunnen binnen enige jaren op de markt komen en t.z.t. als vervanger van de HR-toestellen geplaatst worden.
- Een individueel WP-systeem (twee prestatieniveaus) met individuele bodemwarmtewisselaars, voor verwarming, koeling en warmtapwatervoorziening, met vloerverwarming als afgiftesysteem voor verwarming en koeling.
- Centrale warmteopwekking voor verwarming en warmtapwater met een warmtepomp en distributie met een SV-distributiesysteem. Individuele warmtapwatervoorziening met een afleverzet. Centrale koudwatervoorziening voor koeling van de woningen met gescheiden koudwater-circulatiesysteem. De gemeenschappelijke warmte- en koudebron voor deze systemen is een aquifer. Voor verwarming en warmtapwater is tevens bijstook voorzien. (Nuon-systeem met individuele warmtapwatervoorziening)

Oasen heeft van Nuon een set gegevens ontvangen per brief van 25 mei 2007 met vier bijlagen [1]. Daarnaast zijn gegevens verkregen uit het “standaard bestek meetinrichting” van Nuon. Naar aanleiding van aanvullende vragen van Oasen heeft Nuon per brief van 16 augustus 2007 aanvullende gegevens verstrekt [2].

Hieronder worden deze gegevens samengevat. Vervolgens wordt een eerste beoordeling van het systeem gegeven op basis van de beschikbare gegevens. Afgesloten wordt met de voorlopige conclusies en aanbevelingen.

2 Beschikbare gegevens Nuon

2.1 Karakterisering van de wijk Weideveld:

Omvang: 771 woningen, verdeeld over 9 deelgebieden
(het aantal woningen varieert in de verschillende bronnen tussen 750 en 800)

Looptijd plan: 2007 – 2015

1^e stap:

deelgebied 1 (137 woningen, 33 appartementen)

deelgebied 2 (69 woningen)

Onderverdeling [1]:

rijtjeswoningen	598
appartementen	133
twee-onder-een-kap	36
vrijstaand	33
<i>totaal</i>	<i>800</i>

2.2 Ontwerpgegevens woningen

Verwarming

Maximale warmtevraag	13 kW
Ontwerpdebiet	0,31 kg/s / 1120 l/uur
Ontwerptemperaturen ¹	aanvoer/retour 45/35 °C (48 aan opwekenheid) aanvoer maximaal 55°C
Bedrijfstemperaturen	stooklijnregeling – lineair van 45/-10 naar 25/20 geen warmtelevering bij een buitentemperatuur boven 22°C

Warmtapwater

Basis	comfortklasse 4 (7,5 l/min à 60°C)
Opties	comfortklasse 5 of 6 (9 of 16 l/min)
Watertemperatuur	60°C

Koeling

Nominale koudevraag	---
Ontwerpdebiet	0,31 kg/s / 1120 l/uur
Ontwerptemperaturen ¹	aanvoer/retour 18/23 °C
Bedrijfstemperaturen	aanvoer weersafhankelijk tussen 17 en 22°C geen koudelevering bij een buitentemperatuur onder 15°C ¹

1. [1 - Bijlage 1. Specs leveringscondities]

2.3 Verbruiksgegevens

<i>Warmtevraag verwarming</i>	<i>GJ/jr</i>
rijtjeswoningen ¹	12,6
appartementen ¹	8,6
twee-onder-een-kap ¹	16,6
vrijstaand ¹	20,6
<i>gemiddeld</i> ¹	<i>12,4</i>
<i>gemiddeld</i> ²	<i>9,8</i>

- [1 - Het verschil van 4 GJ/jr meerverbruik voor de typen volgens inschatting Nuon.]
- [1 - Bijlage 4. Spreadsheet CO2]

	<i>GJ/jr</i> ¹	<i>GJ/jr</i> ²
Warmtevraag <i>warmtapwater</i> (aan tappunten of aan het leveringspunt?)	10,3	8,1
<i>Koudevraag</i>	6	6,3

- [1]
- [1 - Bijlage 4. Spreadsheet CO2]

2.4 Distributiesysteem

Globale opzet distributiesystemen (plattegrond, leidingloop, leidinglengten)

De globale leidingloop is geschetst in bijlage 3 van Nuon [1]. De leidingen worden voornamelijk onder de woningen aangelegd in een compact netwerk. De gemiddelde enkele leidinglengte van het distributiesysteem bedraagt naar schatting 6 – 9 meter per woning.

Doorvoeren leidingwerk rechtsreeks vanuit de kruipruimte naar de woningen.

Bij appartementen lopen de stijgleidingen in een schacht, naast de bergingen. In gestapelde bouw moeten de warmtevoerende leidingen voor verwarming en warmtapwater in een gescheiden schacht zijn aangebracht ten opzichte van drinkwater (eis NEN 2768). De stijgleidingen zijn geïsoleerd; ook bij de doorvoeren door vloeren en wanden [2].

Dimensionering distributiesystemen (ontwerpdebiet, diameter, isolatie, warmte/koudeverlies).

Nuon heeft aangegeven dat in overleg verdere informatie verstrekt kan worden [1].

Uit eerdere informatie (set pdf's dd 25/4/07) is een indruk verkregen van de toegepaste leidingmaterialen, -afmetingen en -isolatie.

Uitvoering distributiesystemen (diepte, onderlinge afstand, voorzieningen om te voorkomen dat leidingen in grondwater liggen)

De leidingen worden in een sleuf op 1 meter diepte met een breedte van 1,40 meter of meer gelegd.. Het is niet duidelijk of deze sleuf onder de woningen (deels) wordt gevuld met grond of dat de leidingen onafgedekt blijven.

Temperatuurregeling/instelling distributiesystemen

verwarming	zie ontwerpgegevens woningen
warmtapwater	temperaturen 64/60 (op laatste huis)
koeling	zie ontwerpgegevens woningen

Vermogen/karakteristiek pompen in distributiesysteem

Nuon heeft aangegeven dat in overleg verdere informatie verstrekt kan worden [1].
Geen verdere info beschikbaar.

Rendement distributiesysteem [1 - Bijlage 4. Spreadsheet CO2]

verwarming	90%
warmtapwater	75%
koude	95%

Geen referentie of onderbouwing voor deze getallen.

2.5 Warmte- en koudeopwekking

Dimensionering warmteopwekkers (vermogen warmtepomp, bijstook)
Geen gegevens beschikbaar.

Energieprestatie warmtepomp (COP bij één of meer bedrijfscondities) en bijstook (gaskeurlabel) en van gehele systeem op jaarbasis.

Opgave jaarprestaties [1 - Bijlage 4. Spreadsheet CO₂]

<i>Functie/component</i>	<i>rendement/COP</i>	<i>Inzet</i>
<i>Verwarming</i>		
warmtepomp	COP = 4,3	70%
HWC gas	$\eta_{ow} = 93\%$	30%
<i>Warmtapwater</i>		
warmtepomp	COP = 2,8	92%
HWC gas	$\eta_{ow} = 90\%$	8%
<i>Koudelevering</i>		
Uit de bodem	“COP” = 25	100%

2.6 Specifieke eisen ten aanzien van de warmtapwaterlevering.

Het “standaard bestek meetinrichting” van Nuon omvat o.a. de volgende onderdelen.
Van toepassing zijnde normen, o.a. (2.2.):

- NEN 1006 – Algemene voorschriften voor leidingwaterinstallaties.
- NEN 2768 – Meterkasten.

Algemeen gedeelte, o.a. (2.3):

- Stilstandsverlies afleverset in meterkast bedraagt maximaal 50 W.

Specificatie warmtapwatergedeelte, o.a. (2.4):

- Temperatuur warmtapwater minimaal 60°C, maximaal 65°C.
- Temperatuurvariatie minder dan 3K.

- Warmtapwater minimale druk 200 kPa, maximale druk 600 kPa.
Binnen een woning is de druk vrijwel constant en zal daarmee niet veel afwijken van de koudwaterdruk [2].
- Maatregelen om te voorkomen dat zich in het stilstaande warme water Legionella bacteriën kunnen ontwikkelen.
- In het warmtapwatergedeelte dient voldoende ruimte te zijn opgenomen voor een beveiliging (bijv. drukverschilregelaar of afsluiter) welke bij het wegvallen van de koudwaterdruk de aanvoer warmtapwater afsluit.
Momenteel past Nuon een elektronische klep (Buerkert) toe met een sensor in het koudwaternet. Tevens wordt een nieuwe klep getest met een dubbele functie: sluiten bij wegvallen koudwaterdruk en volgen koudwaterdruk bij normaal gebruik [2].

Beheersmaatregelen [2]:

- Nuon stelt een beheersplan op. Dit bevat o.a. een meetprogramma om de waterkwaliteit blijvend te bewaken.
- De temperaturen worden op een aantal “strategisch gekozen punten” gemeten, zijnde de meest verafgelegen meetinrichtingen. Op deze punten dient de temperatuur ten minste 60°C te zijn.

2.7 Grondwater

Grondwaterniveau: 1 meter onder maaiveld [1].

Nuon legt normaliter de leidingen boven het grondwaterniveau uit. Voor project Weideveld is echter, in verband met de constante hoge grondwaterstand, deze “eis” verzacht naar een “wens”. Nuon houdt er rekening mee dat dat niet altijd mogelijk zal kunnen zijn [2].

Leidingen worden op een deugdelijke manier waterdicht geïsoleerd, waardoor de isolatie zich niet kan vullen met grondwater [2].

3 Beoordeling beschikbare gegevens

3.1 Energieprestatie voor verwarming

Hieronder worden de beschikbare gegevens stap voor stap besproken:

- Uit de beschikbare gegevens blijkt dat in alle woningen LT verwarming wordt toegepast met een ontwerptemperatuur van 45/35. Het (gemiddeld) ontwerpvermogen bedraagt 13,5 kW; naar verwachting uitgevoerd als vloerverwarming. Bij een maximale warmteafgifte van vloerverwarming van 100 W/m² komt dit overeen met een gebruiksoppervlak van minimaal 135 m² per woning.
- De (gemiddelde) warmtevraag op jaarbasis bedraagt 12,4 GJ [1 – info van gemeente] of 9,8 GJ [1- Nuon in bijlage 4]. Dit is een lage warmtevraag die waarschijnlijk naast de gebruikelijke isolatie de toepassing van gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning vereist. De oorzaak van het verschil in de opgegeven warmtevraag is niet bekend.
- Het distributierendement voorverwarming bedraagt volgens Nuon 90%. Een onderbouwing is niet gegeven.
Uit een indicatieve berekening (Bijlage 1) voor enige varianten volgen rendementen van 75 – 83%.
- Over het hulpenergiegebruik van het distributiesysteem is geen informatie beschikbaar.
- Het opwekendement voor verwarming is opgebouwd uit bijdragen van warmtepomp(en) en bijstookketel(s). Een onderbouwing is niet gegeven. De COP van de WP bedraagt volgens Nuon 4,3, wat iets hoger is dan de forfaitaire waarde in de energieprestatienorm voor woningen (EPN) [3] van 4,1 voor WP met grondwater als bron bij een ontwerptemperatuur van 45°C. Het ketelrendement van 93% op onderwaarde (84% bw) ligt tussen de forfaitaire niveaus voor VR-ketels en HR-100 ketels.
De inzet van de WP ligt volgens Nuon op 70%, wat volgens de EPN overeenkomt met een vermogensaandeel van de WP tussen 20 en 30% .

Samenvattend:

- De gegevens wijzen op een lage warmtevraag, waardoor een LT (vloer?) verwarmingssysteem goed haalbaar is.
- Bij deze lage warmtevraag is het relatief moeilijk een hoog distributierendement te bereiken. De opgegeven waarde van 90% lijkt te optimistisch; indicatieve berekeningen wijzen op 75-85%. Het hulpenergiegebruik is nog onbekend.
- Hoewel de prestatiegegevens van de warmteopwekking niet onderbouwd zijn, komen zij ruwweg overeen met de prestaties die voor dergelijke systemen te verwachten zijn.

3.2 Energieprestatie voor warmtapwater

Hieronder worden de beschikbare gegevens stap voor stap besproken:

- De (gemiddelde) warmtapwatervraag op jaarbasis bedraagt 10,3 GJ [1 – info van gemeente] of 8,1 GJ [1 - bijlage 4]. Voor beide waarden is niet aangegeven of het hier om de warmtevraag aan de tappunten of aan het leveringspunt gaat; het laatste ligt het meest voor de hand.
De warmtapwatervraag van Nuon komt het best overeen met praktijkgegevens en de EPN [3].
- Het distributierendement voor warmtapwater bedraagt volgens Nuon 75%. Een onderbouwing is niet gegeven.
Uit een indicatieve berekening (zie bijlage 1) voor enige varianten volgen rendementen van 45 – 59%.
- Het opwekendement voor warmtapwater is opgebouwd uit bijdragen van warmtepomp(en) en bijstookketel(s). Een onderbouwing is niet gegeven.
De COP van de WP bedraagt volgens Nuon 2,8, wat hoger is dan de forfaitaire waarde in de EPN [3] van 2,2 voor WP met grondwater als bron. Om deze hoge waarde te bereiken is een zeer goede warmtepomp en een goed geïsoleerd stelsel van voorraadvaten vereist. Het ketelrendement van 90% op onderwaarde (81% bw) komt overeen met het forfaitaire niveau voor een voorraadvat met een HR-100 ketel.
De inzet van de WP ligt volgens Nuon op 92%. De EPN geeft hiervoor geen regels maar het is bekend dat bij een goede bedrijfsvoering een hoge inzet van de WP voor warmtapwater mogelijk is.

Samenvattend:

- De warmtapwatervraag van gemeente en Nuon verschillen 20%, waarbij de laagste waarden van Nuon het best overeenkomen met praktijkgegevens en de EPN.
- Bij deze lage warmtevraag is het relatief moeilijk een hoog distributierendement te bereiken. De opgegeven waarde van 75% lijkt te optimistisch; indicatieve berekeningen wijzen op 45-60%. Het hulpenergiegebruik is nog onbekend.
- De prestatiegegevens van de warmteopwekking zijn niet onderbouwd; de hoge COP vereist toelichting.

3.3 Energieprestatie voor koeling

Hieronder worden de beschikbare gegevens stap voor stap besproken:

- De (gemiddelde) koudevraag op jaarbasis bedraagt 6 GJ [1 – informatie van gemeente] of 6,3 GJ [1- Nuon in bijlage 4]. Er zijn momenteel nog weinig praktijkgegevens beschikbaar over de feitelijke koudevraag in woningen. De EPN [3] geeft in een voorbeeld voor een tussenwoning een koudevraag van 2 GJ/jaar. Uit een rekenstudie blijkt dat voor een tussenwoning de vraag uiteen kan lopen van 1 tot 5,6 GJ voor een gemiddeld jaar en van 4 tot 8,6 GJ voor een warm jaar.
- Het distributierendement voor koeling bedraagt volgens Nuon 95%. Een onderbouwing is niet gegeven.
Gezien de geringe verschillen tussen grondtemperatuur en koudwatertemperatuur kunnen de leidingverliezen laag zijn.

- Het opwekrendement voor koude wordt bepaald door de bijdrage van circulatiepomp(en) voor het grondwater en het afgiftesysteem en wordt uitgedrukt als een (pseudo)COP. Een onderbouwing is niet gegeven.
De COP van de koeling bedraagt volgens Nuon 25, wat aanzienlijk hoger is dan de forfaitaire waarde in de EPN van 10 voor WP met grondwater als bron.

Samenvattend:

- De koudwatervraag van gemeente en Nuon komen vrijwel overeen. De waarde valt binnen de bandbreedte van bekende gegevens uit simulatieberekeningen maar ligt een factor 3 hoger dan de koudevraag volgens de EPN voor een tussenwoning.
- De opgegeven waarde van het distributierendement van 95% is hoog. Het hulpenergiegebruik is nog onbekend.
- De prestatiegegevens van de warmteopwekking zijn niet onderbouwd; de hoge COP vereist toelichting.

3.4 Volksgezondheid t.a.v. Legionella

De risico's ten aanzien van Legionella worden voor zowel het drinkwater als het warmwatercircuit bepaald op basis van de beschikbare regelgeving (NEN 1006 [5], VEWIN werkbladen [6], LegionellaCode woningen [7], norm t.a.v. meterkasten[8]).

Uit het “standaard bestek meetinrichting” van Nuon blijkt dat de inrichting van de meterkasten dient te voldoen aan de eisen van NEN 2768. Deze norm bevat specifieke eisen voor de inrichting van de meterkast bij aanwezigheid van zowel een watermeter als een afleverset voor verwarming en warmtapwater, zoals:

- ventilatieopeningen en de afwezigheid van belemmeringen (ter wille van voldoende ventilatie van de kast waardoor warmte kan worden afgevoerd)
- maximale warmteafgifte van de afleverset (op dit punt eist Nuon o.a. een laag stilstandsverlies van 50 W)
- geen stijgleidingen drinkwater of warmwater in de meterkast
- geen verdeler/verzamelaar voor verwarming in de meterkast

Als men in de praktijk aan deze eisen voldoet is de situatie in de kast Legionellaveilig voor het drinkwater dat door de watermeter stroomt.

In gestapelde bouw worden volgens de beschikbare gegevens de stijgleidingen geïsoleerd en in een gescheiden schacht t.o.v. het drinkwater aangebracht. Als dit correct gebeurt en de stijgleidingen tevens buiten de meterkasten worden geplaatst blijft eventuele opwarming van drinkwater beperkt en is ook hier een Legionellaveilig drinkwatersysteem mogelijk.

In het warmwatercircuit zijn enige voorzieningen vereist voor Legionellaveilig bedrijf, namelijk:

- Mogelijkheid tot inregeling van de volumestroom door de deelringen. Hierover is nog geen informatie bekend.
- Temperatuurmeting op de retour van elke deelring. Nuon geeft aan dat het de “meest verafgelegen” plaatsen wil meten. In dit verband zijn dit de plaatsen waar de retourleidingen van de deelringen samenkomen.
- De temperatuur op de retour van elke deelring dient minimaal 60°C te zijn bij normaal bedrijf. Dit gaat iets verder dan de eis van Nuon van 60°C aan het laatste tappunt. Zie ook het vorige punt.

Daarnaast heeft Nuon aangegeven een beheersplan op te stellen en beheersmaatregelen uit te voeren t.a.v. waterkwaliteit en watertemperaturen.

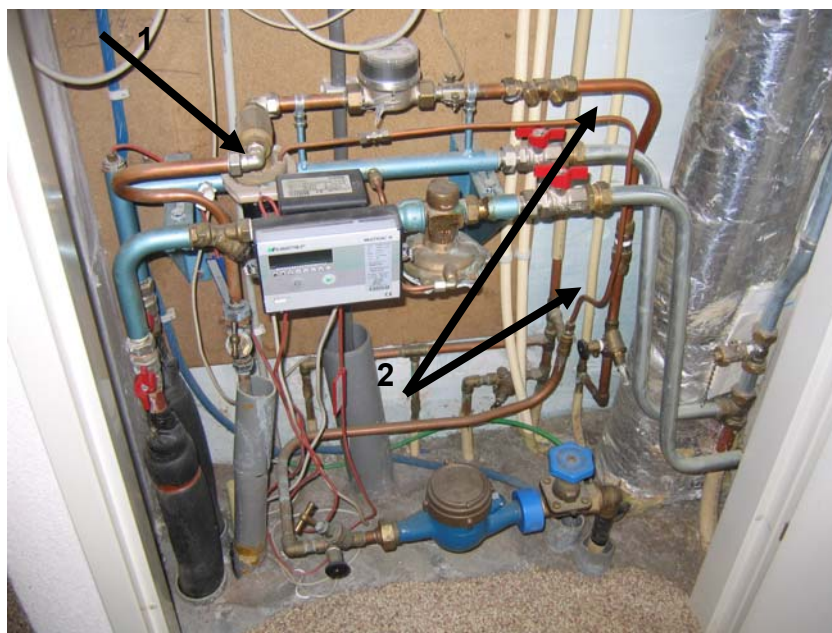
3.5 Volksgezondheid t.a.v. verbrandingsrisico t.g.v. warmwater

Uit het “standaard bestek meetinrichting” van Nuon blijkt dat in het warmtapwatergedeelte voldoende ruimte dient te zijn opgenomen voor een beveiliging (bijv. drukverschilregelaar of afsluiter) welke bij het wegvallen van de koudwaterdruk de aanvoer warmtapwater afsluit. Uit de aanvullen gegevens blijkt dat een dergelijke voorziening toegepast wordt, mogelijk met als extra functie dat de koudwaterdruk gevolgd wordt.

Een dergelijke voorziening is gewenst omdat bij centrale warmtapwaterlevering de druk van bijvoorbeeld het drinkwater kan wegvallen terwijl de druk op het warmtapwater intact blijft, wat vooral bij douchen een verbrandingsrisico oplevert.

De uitvoering van een dergelijke beveiliging kan op diverse manieren gebeuren. Een ongewenste uitvoering is die, waarbij een servo-leiding met drinkwater wordt gebruikt voor het aansturen van een drukgestuurde afsluiter in de warmtapwatervoorziening. Deze servo-leiding heeft namelijk het karakter van een dode leiding in de meterkast en vormt daarom een Legionellarisico (zie foto).

Uit de gegevens van Nuon blijkt dat men een “sensor in het koudwaternet” toepast.



Figuur 1 Afleverset met drukgestuurde beveiliging tegen wegvallen drinkwaterdruk (1) via servo-leiding drinkwater (2)

3.6 Functionele aspecten: drukregime en regelbaarheid van warm en koud water

Voor een goed instelbare en stabiele mengtemperatuur op de gebruikspunten van de woningen is het volgende vereist:

- Stabiele temperatuur warmtapwater
Nuon verzorgt een warmtapwater temperatuur tussen 60°C en 65°C met een variatie van minder dan 3K. De vraag is hoe snel dergelijke variaties kunnen optreden.
- Stabiele druk warmtapwater
Nuon levert warmtapwater bij een druk tussen 200 kPa en 600 kPa. Als tijdens tapwatergebruik de druk varieert tussen deze uitersten dan is een stabiele temperatuurregeling niet mogelijk zonder aanvullende voorzieningen. Nuon stelt dat binnen de woning de druk brijwel constant is en daarmee niet veel zal afwijken van de koudwaterdruk..
- Geen grote overdruk warmtapwater
Bij grote overdruk aan de warme zijde is toepassing van keerkleppen aan de koude zijde vereist om terugstroming van warmwater in het drinkwaternet te voorkomen. In het vorige punt is reeds aangegeven dat Nuon geen grote overdruk voorziet.

3.7 Functionele aspecten: duurzaamheid van de leidingnetwerken i.v.m. de hoge grondwaterstand

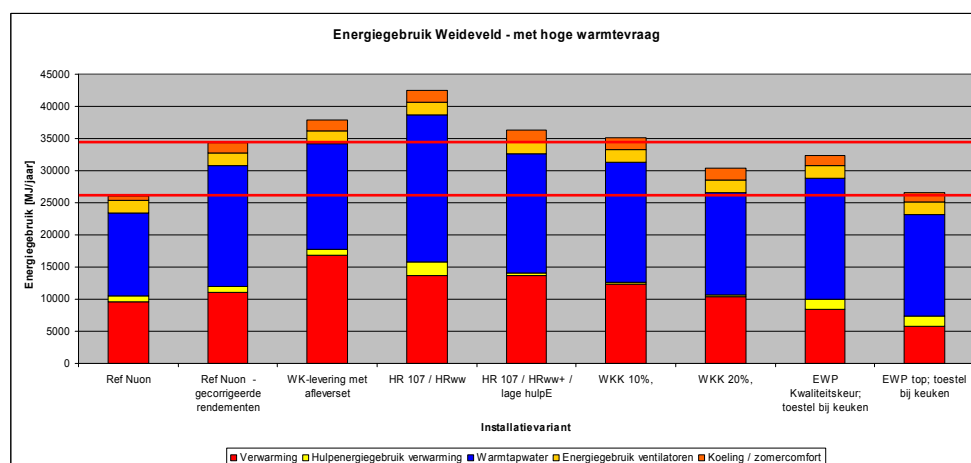
Volgens de gegevens van Nuon worden de leidingen in een sleuf op 1 meter diepte gelegd en is het grondwaterpeil eveneens 1 meter onder het maaiveld. Hierdoor kan de situatie ontstaan dat de leidingen deels en/of een deel van de tijd in natte grond liggen. In principe bestaat hierbij het risico dat op langere termijn de isolatie met water wordt gevuld. Als dat gebeurt gaat de isolatiewaarde achteruit, waardoor de energieprestatie van het gehele systeem ernstig wordt aangetast.

Nuon heeft in de brief met aanvullende gegevens aangegeven zich van dit risico bewust te zijn en stelt dat waterdichte isolatie afdoende is.

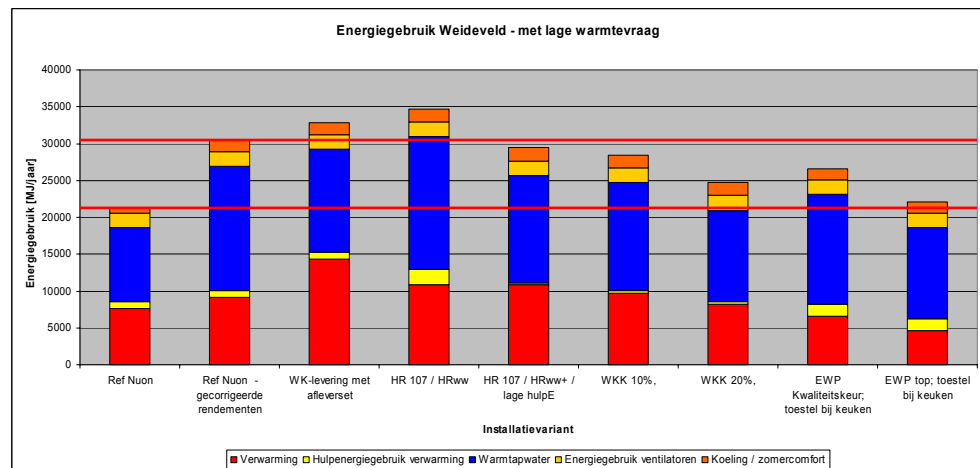
4 Energieprestatie

Op basis van de nu beschikbare gegevens is voor de hoge en lage warmtevraag voor verwarming en warmtapwater een vergelijking gemaakt in energieprestatie tussen het Nuon systeem en de volgende installatievarianten:

1. Het Nuon-systeem met gecorrigeerde systeemrendementen.
2. Centrale warmteopwekking voor verwarming en warmtapwater met een warmtepomp en distributie met een SV-distributiesysteem. Individuele warmtapwatervoorziening met een afleverset. Centrale koudwatervoorziening voor koeling van de woningen met gescheiden koudwater-circulatiesysteem. De gemeenschappelijke warmte- en koudebron voor deze systemen is een aquifer. Voor verwarming en warmtapwater is tevens bijstook voorzien. (Nuon-systeem met afleverset warmtapwatervoorziening in plaats van circulatiesysteem warmtapwater).
3. Een HT-CV-installatie met combi-HR-107 ketel met HRww label voor warmtapwater. Voor koeling wordt hier uitgegaan van een systeem met een COP van 3.
4. Als 4, met een hoger rendement voor warmtapwater (75% bij comfortklasse 3) en een laag hulpenergiegebruik. Dit type HR-combi toestellen is momenteel op de markt beschikbaar.
5. Dezelfde installatie, voorzien van een microWKK toestel met 10% elektriciteitsproductie. Dergelijke systemen zijn nu nog niet op de markt maar kunnen binnen enige jaren op de markt komen en t.z.t. als vervanger van de HR-toestellen geplaatst worden.
6. Als 6, met 20% elektriciteitsproductie. Dit is naar verwachting de bovengrens van de prestatie van microWKK toestellen op basis van een Stirling motor.
7. Een individueel WP-systeem met kwaliteitskeur met individuele bodemwarmtewisselaars, voor verwarming, koeling en warmtapwatervoorziening, met vloerverwarming als afgiftesysteem voor verwarming en koeling.
8. Als 8, met een top-prestatieniveau



Figuur 2 Energiegebruik gemiddelde woning in Weideveld met hoge warmtevraag.



Figuur 3 Energiegebruik gemiddelde woning in Weideveld met lage warmtevraag

Hierbij zijn de volgende gegevens gebruikt:

- Warmtevraag verwarming: 12400 MJ/jaar (hoog) en 9800 (laag).
- Afgiftesysteem verwarming:
 - HT radiatoren voor ketels en microWKK met systeemrendement 95%.
 - LT vloerverwarming voor Nuon systeem en voor warmtepompen met systeemrendement 100%.
- Systeemrendement verwarming:
 - Nuon systeem: 90% (ref Nuon).
 - Met gecorrigeerd systeemrendement: 79 en 75% voor hoge resp. lage warmtevraag.
 - Nuon-systeem met afleverset warmtapwater: 70 en 65% voor hoge resp. lage warmtevraag.
- Opwekrendement verwarming:
 - Nuon systeem: 70% inzet WP met COP 4.3 en 30% inzet ketel met rendement van 84%.
 - Nuon-systeem met afleverset warmtapwater: 85% inzet WP met COP 2,8 en 15% inzet ketel met rendement van 81%.
 - HR-ketels 95% bw.
 - Equivalent opwekrendement microWKK voor verwarming: 106 en 125% bw voor 10% resp. 20% elektriciteitsproductie [9].
 - COP warmtepompen voor verwarming: 3.8 en 5.5 voor kwaliteitskeur resp. topsegment warmtepompen.
- Warmtevraag warmtapwater: 10300 MJ/jaar (hoog) en 8100 (laag).
- Systeemrendement warmtapwater:
 - Nuon systeem: 75% (ref Nuon).
 - Met gecorrigeerd systeemrendement: 51 en 45% voor hoge resp. lage warmtevraag warmtapwater.
 - Nuon-systeem met afleverset warmtapwater: 70% en 65% voor hoge resp. lage warmtevraag; in beide gevallen maal 85% rendement van de afleverset [3]

- Opwekrendement warmtapwater:
 - Nuon systeem: 92% inzet WP met COP 2.8 en 8% inzet ketel met rendement van 81%.
 - Nuon-systeem met afleverset warmtapwater: 85% inzet WP met COP 2,8 en 15% inzet ketel met rendement van 81%.
 - HR-ketel met HRww label: 67,5% bw incl. hulpenergie.
 - HR-ketel met verbeterd rendement: 75% bw incl. hulpenergie (hier aangeduid als HRww+ label).
 - MicroWKK: rendement voor verwarming maal een vatrendement van 70%.
 - COP warmtepompen voor verwarming: 2.0 en 2.4 voor kwaliteitskeur resp. topsegment warmtepompen.
- Hulpenergie verwarming
 - Nuon systeem en varianten: alleen pompenergie conform EPN [3] voor pomp met pompschakeling (werkelijk verbruik kan hoger liggen).
 - HR-ketel: hulpenergie voor pomp, ketelventilator en elektronica; forfaitaire waarden conform EPN.
 - HR-ketel met verbeterd rendement: met verlaagd hulpenergieverbruik [10].
 - MicroWKK: als HR-ketel met verlaagd hulpenergieverbruik.
 - Warmtepompen: als HR-ketel: hulpenergie voor pomp en elektronica; forfaitaire waarden conform EPN.
- Ventilatie:
 - Stelpost voor alle systemen gelijk, zoals voor mechanische ventilatie, conform de EPN.
- Koeling/zomercomfort:
 - Koudevraag 6000 MJ/jaar voor woningen met koeling en 2000 MJ/jaar voor woningen zonder koeling.
 - COP van 25 voor Nuon systeem en van 10 voor Nuon systeem met gecorrigeerde waarden.
 - COP van 3 voor ketels en microWKK, conform EPN.
 - COP van 10 voor warmtepompen, conform EPN.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Energieprestatie

Uitgaande van de gegevens van Nuon, aangevuld met gegevens uit de EPN en andere literatuur, luiden de *voorlopige* conclusies ten aanzien van de energieprestatie (hier cijfermatig voor de hoge warmtevraag):

- Het Nuon systeem heeft, op basis van de Nuon gegevens, een zeer laag energiegebruik ten opzichte van de traditionele HR ketel (26000 vs 42000 MJ/jaar).
- Het Nuon-systeem is echter gevoelig voor de verliezen van het distributiesysteem. Nuon lijkt hiervoor te hoge waarden te hanteren. Als met minder gunstige gegevens wordt gerekend stijgt het energiegebruik naar 34000 MJ/jaar. Nauwelijks beter dan de beste HR ketels met een energiegebruik van 36000 MJ/jaar.
- Als microWKK toestellen over enige jaren beschikbaar komen kan daarmee een energiegebruik van 35000 -30000 MJ/jaar worden bereikt, waarmee de prestatie van het Nuon systeem wordt benaderd. Maar zowel de ketels als microWKK hebben geen koelfunctie.
- Met individuele warmtepompen kan een energiegebruik van 32000 – 26000 MJ/jaar worden bereikt. Hiermee kan tevens vrij worden gekoeld. Deze systemen zijn qua energieprestatie goed vergelijkbaar met het Nuon systeem,
- Als het Nuon systeem wordt aangepast tot een systeem met afleverset en zonder circulatieleiding voor warmtapwater stijgt het energiegebruik naar 37000 MJ/jaar; vooral door het lagere opwekrendement (COP) van de warmtepomp voor verwarming. Dit is een energetisch minder gunstig systeem dan het nu voorgestelde Nuon systeem.

Kortom: op basis van de gegevens van Nuon is het Nuon-systeem energetisch het beste, hooguit vergelijkbaar met de beste individuele warmtepompsystemen. Het systeemrendement lijkt echter te hoog ingeschat. Bij lagere waarden voor het systeemrendement zijn andere systemen (de beste HR ketels, in de nabije toekomst microWKK) energetisch vergelijkbaar.

Voor een definitieve beoordeling van de energieprestatie van het systeem ontbreken nog de volgende gegevens:

Algemeen:

- Gebruiksoppervlakte en verliesoppervlakte van de woningen

Verwarming

- Aanvullende gegevens/berekening ter onderbouwing van het distributierendement.
- Gegevens hulpenergiegebruik distributiesysteem.
- Gegevens samenstelling en prestaties (specs) van de warmteopwekkers.

Warmtapwater

- Aanvullende gegevens/berekening ter onderbouwing van het distributierendement.
- Gegevens hulpenergiegebruik distributiesysteem.
- Gegevens samenstelling en prestaties (specs) van de warmteopwekkers en opslagvaten en berekening ter onderbouwing van de hoge COP.

Koeling

- Gegevens ter onderbouwing van de COP.

5.2 Legionellaveiligheid

Op basis van de gegevens van Nuon luidt de conclusie dat het systeem op Legionellaveilige wijze kan worden aangelegd conform de geldende richtlijnen. De volgende aspecten zijn door Nuon vastgelegd:

- Inrichting van de meterkasten volgens NEN 2768.
- In gestapelde bouw dienen de stijgleidingen te worden geïsoleerd; ook bij de doorvoeren door vloeren en wanden. Tevens worden de stijgleidingen in een gescheiden schacht t.o.v. het drinkwater aangebracht.

Op de volgende punten is nog onvoldoende bekend of zijn de antwoorden van Nuon nog onvoldoende duidelijk:

- In het warmwatercircuit van Nuon zijn de volgende voorzieningen vereist:
 - Mogelijkheid tot inregeling van de volumestroom door de deelringen.
 - Temperatuurmeting op de retour van elke deelring (Nuon stelt: “meest verafgelegen punt”)
 - De temperatuur op de retour van elke deelring dient minimaal 60°C te zijn bij normaal bedrijf (dit gaat iets verder dan de eis van Nuon van 60°C aan het laatste tappunt)

Overigens is de correcte uitvoering van het ontwerp van groot belang.

Daarnaast heeft Nuon aangegeven een beheersplan op te stellen en beheersmaatregelen uit te voeren t.a.v. waterkwaliteit en watertemperaturen.

5.3 Voorkomen verbrandingsrisico

Uit de informatie van Nuon blijkt dat men een voorziening tegen verbrandingsrisico's toepast. Een dergelijke voorziening is vereist omdat bij centrale warmtapwaterlevering de druk van bijvoorbeeld het koude drinkwater kan wegvallen terwijl de druk op het warmtapwater intact blijft, wat vooral bij douchen een verbrandingsrisico oplevert.

5.4 Regelbaarheid warm en koud tapwater

Op basis van de nu beschikbare gegevens van Nuon luidt de conclusie dat een goed instelbare en stabiele mengtemperatuur op de gebruikspunten van de woningen onzeker is.

Voor goed instelbare en stabiele mengtemperatuur is het volgende vereist:

- Stabiele temperatuur warmtapwater
Nuon verzorgt een warmtapwater temperatuur tussen 60°C en 65°C met een variatie van minder dan 3K. De vraag is hoe snel dergelijke variaties kunnen optreden.
- Stabiele druk warmtapwater
Nuon levert warmtapwater bij een druk tussen 200 kPa en 600 kPa. Als tijdens tapwatergebruik de druk varieert tussen deze uitersten dan is een stabiele temperatuurregeling niet mogelijk zonder aanvullende voorzieningen. Nuon stelt dat binnen de woning de druk brijwel constant is en daarmee niet veel zal afwijken van de koudwaterdruk.

- In aanvulling hierop kunnen de woningen worden voorzien van mengkranen die de drukverschillen en –veranderingen compenseren. Ook in de toekomst dienen bewoners bij installatieaanpassingen dergelijke voorzieningen aan te schaffen. Dit heeft een kostenverhoging voor bewoners tot gevolg ten opzichte van systemen met warmtapwaterbereiding in de woning.
- Geen grote overdruk warmtapwater
Bij grote overdruk aan de warme zijde is toepassing van keerkleppen aan de koude zijde vereist om terugstroming van warmwater in het drinkwaternet te voorkomen. In het vorige punt is reeds aangegeven dat Nuon geen grote overdruk voorziet.

5.5 Duurzaamheid leidingnetwerk i.v.m. grondwater

Volgens de gegevens van Nuon worden de leidingen in een sleuf op 1 meter diepte gelegd en is het grondwaterpeil eveneens 1 meter onder het maaiveld. Hierdoor kan de situatie ontstaan dat de leidingen deels en/of een deel van de tijd in natte grond liggen. In principe bestaat hierbij het risico dat op langere termijn de isolatie met water wordt gevuld. Als dat gebeurt gaat de isolatiewaarde achteruit, waardoor de energieprestatie van het gehele systeem ernstig wordt aangetast. Nuon heeft in de brief met aanvullende gegevens aangegeven zich van dit risico bewust te zijn en stelt dat waterdichte isolatie afdoende is.

6 Referenties

1. Brief Nuon dd 25 mei 2007 met vier bijlagen
2. Brief Nuon dd 16 augustus 2007
3. NEN 5128- Energieprestatie van woonfuncties en woongebouwen - Beplingsmethode
NEN, 2004, Delft
4. Besluit tot wijziging van het Waterleidingbesluit en het Besluit hygiëne en veiligheid badinrichtingen en zwemgelegenheden (preventie van *Legionella* in leidingwater) (Stb. 2004, 576)
VROM, Den Haag, december 2004
Internet: <http://www.overheid.nl>
5. NEN 1006:2002, Algemene voorschriften voor leidingwaterinstallaties (AVWI-2002),
NEN, Delft, januari 2002
6. VEWIN-Werkbladen 2004
VEWIN, Rijswijk, juli 2004 (verkrijgbaar bij de stichting SEI, Zoetermeer; de werkbladen 1.4 G en 3.8 zijn gratis beschikbaar via de VEWIN-site: www.vewin.nl/installatie/)
7. ISSO/Uneto-VNI richtlijn 30.5:2003 – LegionellaCode voor woninginstallaties
ISSO, Rotterdam, 2003
8. NEN 2768, Meterruimten en bijbehorende voorzieningen in een woonfunctie
NEN, Delft, 2005
9. Strijd om opvolging van de HR-ketel
Hans van Wolferen, Peter Oostendorp
VV+, oktober 2005
10. Gelijkwaardigheidsverklaring - Primair hulpenergiegebruik voor verwarming t.b.v. de NEN 5128:2004
Voor diverse ketels afgegeven door TNO in 2006 en 2007
TNO-site, momenteel onder de link:
http://www.tno.nl/content.cfm?context=markten&content=product&laag1=176&laag2=302&item_id=946

7 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Oasen drinkwater
t.a.v. Arie Haasnoot
Postbus 122
2800 AC Gouda


Namen en functies van de projectmedewerkers:

Hans van Wolferen

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:


Mei – oktober 2007

Ondertekening:



Ir J. Van Wolferen
projectleider

Goedgekeurd door:



Ing. A.A.L. Traversari, MBA
afdelingshoofd

1 Berekening systeemrendement

Berekening systeemrendement verwarming

Warmtevraag per woning [GJ/jr]	12,4	9,8	12,4	9,8	12,4	9,8
Leidinglengte per woning a&r [m]	14	14	14	14	14	14
K-waarde [W/m.K]	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4
Tgrond [gr.C]	10	10	10	10	12	12
Graad-uren [K*h]	249452	249452	249452	249452	249452	249452
Uren stooklijn aan [h]	8538	8538	8538	8538	8538	8538
D-graad-uren [K*h]	164072	164072	164072	164072	146996	146996
Warmteverlies per woning	3,3	3,3	2,5	2,5	3,0	3,0
Systeemrendement [%]	79	75	83	80	81	77

Berekening systeemrendement warmtapwater

Warmtevraag per woning [GJ/jr]	10,3	8,1	10,3	8,1	10,3	8,1	10,3	8,1
Leidinglengte per woning a&r [m]	14	14	14	14	14	14	14	14
K-waarde [W/m.K]	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Tgrond [gr.C]	10	10	10	10	12	12	15	15
Twater [gr.C]	65	65	65	65	65	65	65	65
Uren stooklijn aan [h]	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760
Warmteverlies per woning [GJ/jr]	9,7	9,7	7,3	7,3	9,4	9,4	8,8	8,8
Systeemrendement [%]	51	45	59	53	52	46	54	48

Berekening systeemrendement verwarming en warmtapwater, verzorgd via één distributiesysteem

Warmtevraag per woning [GJ/jr]	12,4	9,8	12,4	9,8	12,4	9,8	12,4	9,8
Warmtapwatervraag per woning [GJ/jr]	10,3	8,1	10,3	8,1	10,3	8,1	10,3	8,1
Totale warmtevraag [GJ/jaar]	22,7	17,9	22,7	17,9	22,7	17,9	22,7	17,9
Leidinglengte per woning a&r [m]	14	14	14	14	14	14	14	14
K-waarde [W/m.K]	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Tgrond [gr.C]	10	10	10	10	12	12	15	15
Twater [gr.C]	65	65	65	65	65	65	65	65
Uren stooklijn aan [h]	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760
Warmteverlies per woning [GJ/jr]	9,7	9,7	7,3	7,3	9,4	9,4	8,8	8,8
Systeemrendement [%]	70	65	76	71	71	66	72	67

Blaauw gemarkeerd: varianten

Geel gemarkeerd: berekende waarden

2 Energieprestatie

Variant met hoge warmtevraag

Variant	Ref Nuon	Ref Nuon - gecorrigeerde rendementen	WK-levering met afleverzet	HR 107 / HRww	HR 107 / HRww+ / lage hulpE	WKK 10%,	WKK 20%,	EWP Kwaliteitskeur; toestel bij keuken	EWP top; toestel bij keuken
Verwarming (brandstof: E, G, E&G)	E	E	E	G	G	G	G	E	E
Warmtebehoefte [MJ]	12400	12400	12400	12400	12400	12400	12400	12400	12400
Afgiftesysteem	WD	WD	WD	HT-radiatoren	HT-radiatoren	HT-radiatoren	HT-radiatoren	LTvloer	LTvloer
Systeemrendement (R _{sys;verw}) [-]	0.9	0.79	0.7	0.95	0.95	0.95	0.95	1	1
Warmteopwekker verwarming	WP+	WP+	WP+	HR107	HR107 xx	micro WKK - 10%	micro WKK - 20%	WP/B/Keur	WP/B/top
COPel								3.8	5.5
Opwekrendement (R _{opw;verw}) [-]	1.425	1.425	1.050	0.95	0.95	1.060	1.250	1.482	2.145
Q_{prim;verw} [MJ]	9669	11015	16876	13740	13740	12314	10442	8367	5781
Hulpenergie verwarming									
pompschakeling	geschakeld	geschakeld	geschakeld	geschakeld	lage hulpE	lage hulpE	lage hulpE	geschakeld	geschakeld
pomp [kWh]	97.79	97.79	97.79	97.79				97.79	97.79
ventilator								Geen	Geen
ventilator [kWh]				49.78				0.00	0.00
elektronica [kWh]				78.23				78.23	78.23
Q_{prim;hulp;verw} [MJ]	903	903	903	2084	321	303	281	1625	1625
Warmtapwater (brandstof)	E	E	E	G	G	G	G	E	E
Netto behoefte [MJ]	10300	10300	10300	10300	10300	10300	10300	10300	10300
Leidingnet	WD	WD	WD + afleverzet	forfaitair	forfaitair	forfaitair	forfaitair	forfaitair	forfaitair
Systeemrendement [-]	0.75	0.51	0.595	0.742	0.742	0.742	0.742	1	1
Warmteopwekker tapwater	WP+	WP+	WP+	HRww	HRww+	HRww	HRww	WP/B	WP/B
COPel								2	2.4
Opwekrendement ongecorrigeerd [-]	1.069	1.069	1.050	0.675	0.750	0.74	0.88	0.78	0.936
Correctiefactor ctap [-]	1	1	1	0.899	1	1.000	1.000	0.700	0.700
Opwekrendement [-]	1.069	1.069	1.050	0.607	0.750	0.742	0.875	0.546	0.655
Q_{prim;tap} [MJ]	12842	18885	16491	22875	18509	18708	15864	18864	15720
Ventilatoren									
Ventilatiesysteem	mech.vent. (gelijkstroom)	mech.vent. (gelijkstroom)	mech.vent. (gelijkstroom)	mech.vent. (gelijkstroom)	mech.vent. (gelijkstroom)	mech.vent. (gelijkstroom)	mech.vent. (gelijkstroom)	mech.vent. (gelijkstroom)	mech.vent. (gelijkstroom)
Specifiek verbruik [kWh/m ²]	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
Q_{prim;vent} [MJ]	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969
Zomercomfort									
Netto koudebehoefte[MJ]	6000	6000	6000	2000	2000	2000	2000	6000	6000
COPel [-]	23.8	9.5	9.5	3.0	3.0	3.0	3.0	10.0	10.0
Opwekrendement (R _{opw;koel}) [-]	9.26	3.71	3.71	1.17	1.17	1.17	1.17	3.90	3.90
Q_{prim;zom.comf} [MJ]	648	1619	1619	1709	1709	1709	1709	1538	1538

Groen gemarkeerd: berekende waarden (standaard)

Geel gemarkeerd: specifieke berekening

Variant met lage warmtevraag

Variant	Ref Nuon	Ref Nuon gecorrigeerde rendementen	WK-levering met afleverzet	HR 107 / HRww	HR 107 / HRww+ / lage hulpE	WKK 10%,	WKK 20%,	EWP Kwaliteitskeur; toestel bij keuken	EWP top; toestel bij keuken
Verwarming (brandstof: E, G, E&G)	E	E	E	G	G	G	G	G	G
Warmtebehoefte [MJ]	9800	9800	9800	9800	9800	9800	9800	9800	9800
Afgiftesysteem	WD	WD	WD	HT-radiatoren	HT-radiatoren	HT-radiatoren	HT-radiatoren	LTvloer	LTvloer
Systeemrendement (R _{sys} ;verw) [-]	0.9	0.75	0.65	0.95	0.95	0.95	0.95	1	1
Warmteopwekker verwarming	WP+	WP+	WP+	HR107	HR107 xx	micro WKK - 10%	micro WKK - 20%	WP/B/Kkeu r	WP/B/top
COPel								3.8	5.5
Opwekrendement (R _{opw} ;verw) [-]	1.425	1.425	1.050	0.95	0.95	1.060	1.250	1.482	2.145
Q_{prim};verw [MJ]	7641	9170	14363	10859	10859	9732	8253	6613	4569
Hulpenergie verwarming									
pompschakeling	geschakeld	geschakeld	geschakeld	geschakeld	lage hulpE	lage hulpE	lage hulpE	geschakeld	geschakeld
pomp [kWh]	97.79	97.79	97.79	97.79				97.79	97.79
ventilator								Geen	Geen
ventilator [kWh]				49.78				0.00	0.00
elektronica [kWh]				78.23				78.23	78.23
Q_{prim};hulp;verw [MJ]	903	903	903	2084	286	272	254	1625	1625
Warmtapwater (brandstof)	E	E	E	G	G	G	G	G	G
Netto behoefte [MJ]	8100	8100	8100	8100	8100	8100	8100	8100	8100
Leidingnet	WD	WD	WD + afleverzet	forfaitair	forfaitair	forfaitair	forfaitair	forfaitair	forfaitair
Systeemrendement [-]	0.75	0.45	0.5525	0.742	0.742	0.742	0.742	1	1
Warmteopwekker tapwater	WP+	WP+	WP+	HRww	HRww+	HRww	HRww	WP/B	WP/B
COPel								2	2.4
Opwekrendement ongecorrigeerd [-]	1.069	1.069	1.050	0.675	0.750	0.74	0.88	0.78	0.936
Correctiefactor ctap [-]	1	1	1	0.899	1	1.000	1.000	0.700	0.700
Opwekrendement [-]	1.069	1.069	1.050	0.607	0.750	0.742	0.875	0.546	0.655
Q_{prim};tap [MJ]	10099	16831	13966	17989	14555	14712	12476	14835	12363
Ventilatoren									
Ventilatiesysteem	mech.vent. (gelijkstroom)	mech.vent. (gelijkstroom)	mech.vent. (gelijkstroom)	mech.vent. (gelijkstroom)	mech.vent. (gelijkstroom)	mech.vent. (gelijkstroom)	mech.vent. (gelijkstroom)	mech.vent. (gelijkstroom)	mech.vent. (gelijkstroom)
Specifiek verbruik [kWh/m ²]	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
Q_{prim};vent [MJ]	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969	1969
Zomercomfort									
Netto koudebehoefte[MJ]	6000	6000	6000	2000	2000	2000	2000	6000	6000
COPel [-]	23.8	9.5	9.5	3.0	3.0	3.0	3.0	10.0	10.0
Opwekrendement (R _{opw} ;koel) [-]	9.26	3.71	3.71	1.17	1.17	1.17	1.17	3.90	3.90
Q_{prim};zom.comf [MJ]	648	1619	1619	1709	1709	1709	1709	1538	1538