

**Parameterstudie waterzijdig inregelen/  
CV-optimalisatie in woningen**

E.J. Bakker  
K.J. Strootman

## Verantwoording

In opdracht van Novem heeft de unit Duurzame Energie in de Gebouwde Omgeving (DEGO) van het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) begin 2003 het onderzoek “Parameterstudie waterzijdig inregelen / CV-optimalisatie in woningen” uitgevoerd. Het project is uitgevoerd onder ECN-projectnummer 8.44114 (Novem-projectnummer 1012-01-26-01-001).

# INHOUD

LIJST VAN TABELLEN	4
LIJST VAN FIGUREN	4
SAMENVATTING	5
1. INLEIDING	7
1.1 Achtergrond	7
1.2 Doelstelling	7
1.3 Afbakening & uitgangspunten	7
1.4 Aanpak	7
1.5 Opbouw rapport	8
2. WATERZIJDIG INREGELLEN	9
2.1 Wat is waterzijdig inregelen	9
2.2 Methoden voor waterzijdig inregelen	10
2.3 Effect van waterzijdig inregelen	10
2.4 Beschikbaar praktijkonderzoek	11
2.5 Korte marktverkenning	13
2.5.1 Nederlandse woningvoorraad	13
2.5.2 Type ruimteverwarming	14
2.5.3 Gasverbruik voor ruimteverwarming	15
3. PARAMETERS VOOR CV-OPTIMALISATIE	17
3.1 Inventarisatie parameters	17
3.1.1 Groep 1: te wijzigen parameters	17
3.1.1.1 Inregelvoorzieningen	17
3.1.1.2 CV-systeem	18
3.1.2 Groep 2: niet of moeilijk te wijzigen parameters	20
3.1.2.1 Inregelvoorzieningen	20
3.1.2.2 CV-systeem	20
3.1.2.3 Woning en bewoners	22
3.2 Selectie parameters	23
3.2.1 Vervolgonderzoek	23
3.2.2 Te wijzigen parameters	24
4. UITVOERING CV-OPTIMALISATIE	27
4.1 Uitvoering CV-optimalisatie	27
5. CONCLUSIES & AANBEVELINGEN	29
LITERATUUR	31

## LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1	<i>Vershil gemeten energiegebruik voor en na waterzijdig inregelen CV-systemen in praktijkonderzoek [5] .....</i>	12
Tabel 2	<i>Gasverbruik in m<sup>3</sup> voor centrale verwarming, volgens BAK 2000 [3] .....</i>	15

## LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1	<i>Eigendomsverhouding [2] en bouwjaarklassen (bron CBS) van de woningvoorraad in 2000 .....</i>	14
Figuur 2	<i>Soort verwarming [2] (conventioneel, verbeterd of hoog rendement, lokale of stads-/blok verwarming) en leeftijdsopbouw van het CV-ketelbestand [3] van de woningvoorraad in 2000 .....</i>	15

## SAMENVATTING

Onder waterzijdig inregelen wordt verstaan het instellen van ontwerpwaarden van watervolumestromen door warmtegebruikers door middel van inregelvoorzieningen. Uit de diverse publicaties blijkt dat CV-systemen in woningen vaak niet of onvoldoende waterzijdig worden ingeregeld. Hierdoor functioneert het CV-systeem niet optimaal met als mogelijke gevolgen een hoger energiegebruik dan noodzakelijk en oncomfortabele ruimten.

Praktijkonderzoek naar waterzijdig inregelen in de woningbouw heeft tot nu toe onvoldoende duidelijk gemaakt welke woningkenmerken het uiteindelijke besparingseffect van waterzijdig inregelen bepalen. Het blijkt dat de verwachte energiebesparing niet altijd wordt gehaald, dat de besparing voor schijnbaar identieke woningen verschillend is of dat het energiegebruik voor ruimteverwarming juist toeneemt na waterzijdig inregelen. Ook ten aanzien van het comfort zijn de ervaringen in de praktijk wisselend.

Het effect van waterzijdig inregelen blijkt in de praktijk door meer parameters te worden bepaald dan er bij het waterzijdig inregelen op zich aan bod komen. Er is een inventarisatie gemaakt van de parameters die mogelijk een rol spelen, waarna op kwalitatieve wijze de relevantie van deze parameters is geanalyseerd.

De verwachting dat op basis van literatuur een gefundeerde uitspraak kan worden gedaan over de invloed van de verschillende parameters op het effect van waterzijdig inregelen is niet juist gebleken. De gevonden literatuur biedt onvoldoende aanknopingspunten voor eenduidige uitspraken. Praktijkonderzoek naar waterzijdig inregelen bevat teveel onzekerheden om verbanden tussen parameters en energiebesparing te leggen. Studies naar CV-systemen betreffen veelal laboratorium onderzoeken of simulaties met numerieke modellen, waarbij onder ideale omstandigheden het effect van een enkele variabele wordt bestudeerd. De invloed van een waterzijdige onbalans wordt hierbij niet meegenomen en kan veelal ook niet eenduidig afgeleid worden. Hetzelfde geldt voor het effect van een combinatie van variabelen, hetgeen mogelijkwijs een rol speelt bij waterzijdig inregelen.

Het gevolg is dat de gekozen aanpak niet de kwalitatieve analyse oplevert die noodzakelijk is voor rangschikking van de geïnventariseerde parameters op relevantie bij CV-optimalisatie. De beoogde selectie van meest relevante parameters en analyse van praktische haalbaarheid is dan ook niet mogelijk op dit moment. Verder onderzoek is nodig om deze kwalitatieve analyse mogelijk te maken. Voor vervolgonderzoek zijn in eerste instantie de volgende parameters geselecteerd: type en instellingen thermostaat, ketelinstellingen, pomp instelling, aanwezigheid thermostatische radiatorafsluiters, waterinhoud van CV-systeem, type ketel (rendement, combi en modulatie) en afstemming CV-systeem op energieverliezen.

De geïnventariseerde parameters zijn verdeeld in "te wijzigen" en "niet te wijzigen" parameters. In hoeverre, op basis van de bepaalde financiële ruimte, de "te wijzigen" parameters kunnen worden aangepast, hangt af van het aantal (identieke) woningen en de beschikbaarheid van de benodigde ontwerpgegevens. Naarmate het aantal woningen toeneemt en er meer gegevens beschikbaar zijn, neemt de ruimte voor aanpassingen in de woning toe. Vanwege het ontbreken van het gewenste inzicht lijkt het nog te vroeg om al verder in te gaan op "het in de praktijk brengen" van waterzijdig inregelen in woningen.

Voor praktijk metingen zonder onzekerheden als gevolg van bewonersgedrag lijkt een onderzoek in een onbewoonde testwoning de meest praktische optie. Een testwoning leent zich ook voor demonstratie van waterzijdig inregelen aan geïnteresseerden. Onderzoek in een testwoning kan belangrijke informatie opleveren over het mechanisme van energiebesparing door waterzijdig inregelen voor verschillende situaties en welke woningkenmerken daarbij vooral van belang zijn. Een dergelijk onderzoek kan echter nog meer opleveren door het te combineren met het opzetten en valideren van een (dynamisch) simulatie model.



# 1. INLEIDING

## 1.1 Achtergrond

Ten behoeve van het waterzijdig inregelen van woningen is onlangs ISSO publicatie 56 uitgebracht, waarin het inregelen van individuele CV-installaties in woningen beschreven is. Uit nader onderzoek is gebleken dat in de bestaande bouw een groot aantal parameters (o.a. betreffende CV-systeem en bouwkundige aspecten) van invloed is op de energiebesparing die door middel van waterzijdig inregelen gerealiseerd kan worden. Men zou ook kunnen spreken van CV-optimalisatie, waarvan waterzijdig inregelen deel uitmaakt.

Verder onderzoek is nodig om een uitspraak te kunnen doen over de potentiële energiebesparing door middel van CV-optimalisatie. Om dit onderzoek gericht te kunnen uitvoeren, is inzicht in de kansen en knelpunten van de verschillende parameters voor CV-optimalisatie noodzakelijk.

## 1.2 Doelstelling

Het hier beschreven onderzoek “Parameterstudie waterzijdig inregelen/CV-optimalisatie in woningen” heeft als doel:

- Het verschaffen van inzicht in de van belang zijnde parameters voor het realiseren van energiebesparing door CV-optimalisatie. Uitgangspunt hierbij is de beschikbare informatie uit literatuur.
- Het aangeven van mogelijkheden om deze CV-optimalisatie ook daadwerkelijk in praktijk te brengen.
- Het in kaart brengen van de noodzakelijke vervolgstappen.

## 1.3 Afbakening & uitgangspunten

De volgende uitgangspunten zijn bij het onderzoek gehanteerd:

- Het gaat uitsluitend om aanpassingen aan een bestaande installatie in een bestaande woning.
- Het onderzoek richt zich op individuele centrale verwarmingssystemen in woningbouw.
- Luchtverwarming wordt in het onderzoek niet meegenomen.
- De te realiseren energiebesparing bedraagt minimaal 10% met een terugverdientijd van maximaal 5 jaar.
- Het onderzoek is een bureaustudie, er zullen geen metingen worden verricht.

## 1.4 Aanpak

CV-optimalisatie vereist een integrale aanpak. Dit houdt in dat gebouw en installatie als één geheel moeten worden gezien, waarbij het de taak van de uitvoerende is om een evenwicht te vinden tussen het gebouw (warmtevraag) en de installatie (warmteaanbod).

Voor het onderzoek is de volgende aanpak gehanteerd:

- De voor CV-optimalisatie relevante parameters worden geïnventariseerd, waarbij kwalitatief aangegeven wordt welke invloed de parameters hebben op de energiebesparing.
- Voor deze parameters wordt op hoofdlijnen een analyse uitgevoerd van zowel de kansen en de knelpunten als ook de praktische haalbaarheid, waarna een selectie wordt gemaakt van de meest haalbare CV-optimalisatie opties.
- Daarna zal geïnventariseerd worden hoe deze CV-optimalisatie opties in praktijk gebracht kunnen worden, zodat de energiebesparingen daadwerkelijk gerealiseerd worden. In het bijzonder wordt gekeken naar de mogelijkheden om CV-optimalisatie in te passen in de EPA-methodiek (EPA = Energie Prestatie Advies).
- Het onderzoek wordt afgesloten met het in kaart brengen van vervolg acties, waarbij gekeken zal worden naar eventueel verder onderzoek en naar vervolg stappen om CV-optimalisatie zo voortvarend mogelijk in praktijk te brengen.

## 1.5 Opbouw rapport

Na de inleiding van het onderzoek in hoofdstuk 1, volgt in hoofdstuk 2 een beschrijving van waterzijdig inregelen (wat is het, welke methoden zijn er, wat is het effect van waterzijdig inregelen etc) en een korte verkenning van de markt voor waterzijdig inregelen in Nederland.

In hoofdstuk 3 wordt een inventarisatie gemaakt van de parameters die van invloed (kunnen) zijn op de CV-optimalisatie, waarna een selectie wordt gemaakt op basis van vastgestelde criteria om te komen tot parameters waarmee in de praktijk gewerkt kan worden aan CV-optimalisatie. Hoofdstuk 4 gaat verder in op uitvoering in de praktijk o.a. door te bekijken wie het beste CV-optimalisatie kan beoordelen en/of uitvoeren. Hoofdstuk 5 sluit af met conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek en implementatie van CV-optimalisatie.



## 2. WATERZIJDIG INREGELLEN

### 2.1 Wat is waterzijdig inregelen

Onder waterzijdig inregelen wordt verstaan het instellen van ontwerpwaarden van watervolumestromen door warmtegebruikers (bijv. radiatoren) met behulp van de in de installatie aanwezige inregelvoorzieningen.

Middels een warmteverliesberekening van het gebouw wordt het benodigde ontwerpvermogen van de warmtegebruikers in de verschillende vertrekken bepaald. Na een keuze voor het gewenste temperatuurverschil over de warmtegebruikers (zgn. delta-T: verschil tussen aanvoeren retourtemperatuur) liggen de ontwerp volumestromen vast. Middels de pomp karakteristiek wordt de bijbehorende pompdruk bepaald en ingesteld. Vervolgens volgen uit de karakteristieken van de inregelvoorzieningen de gewenste instellingen om de berekende ontwerp volumestromen ook daadwerkelijk te realiseren.

Enkele voorbeelden van inregelvoorzieningen zijn:

- instelbare voetafsluiter (aan de retourzijde van de warmtegebruiker),
- instelbare handafsluiter met slagbegrenzing, ook wel dubbelinstelbaar radiatorventiel genoemd (aan de aanvoerszijde van de warmtegebruiker),
- instelbare thermostatische regelafsluiter (aan de aanvoerszijde van de warmtegebruiker).

Een andere mogelijkheid is een stranginregelafsluiter. Dit type wordt vooral toegepast in collectieve systemen, maar soms ook bij individuele installaties met een eenpijp-systeem [11].

In de periode dat CV-systemen gebruik maakten van circulatie op basis van natuurlijke convectie (zgn. Thermosifon-werking) was inregelen voor een installateur een standaard activiteit. Het niet inregelen van deze systemen zou namelijk direct leiden tot comfort klachten. Deze noodzaak tot inregelen nam af toen de (veelal overgedimensioneerde) circulatiepomp zijn intrede deed, waarmee de circulatie geforceerd wordt. In de loop der jaren is waterzijdig inregelen meer en meer in onbruik geraakt en op het moment hebben veel installatiebedrijven onvoldoende expertise op dit gebied in huis. De gebruikers van CV-systemen zijn zich vaak niet bewust van de optie “waterzijdig inregelen”, een belangrijke reden waarom er ook nauwelijks vraag naar is vanuit de markt.

De studie “Probleemverkenning waterzijdig inregelen van CV-verwarmingssystemen in woningen” [8] noemt een mogelijk samenspel van factoren als reden dat waterzijdig inregelen zo weinig in de praktijk wordt toegepast:

De installateur:

- moet letten op kostenaspect, extra kosten (tijd) voor het maken van berekeningen en het uitvoeren van waterzijdig inregelen, extra kosten voor duurdere (inregel)voorzieningen,
- heeft niet of onvoldoende kennis betreffende de uitvoering en het nut van waterzijdig inregelen,
- gaat uit van “standaard” uitvoering, gebaseerd op praktijkgegevens,
- vindt geavanceerde meetapparatuur veelal te duur,
- heeft onvoldoende tijd voor goede oplevering.

De opdrachtgever:

- eist zo goedkoop mogelijke installatie (“uitgeklede” uitvoering),
- wil zo snel mogelijke oplevering,
- heeft geen duidelijk eisenpakket ten aanzien van prestaties,
- eist geen gedegen opleveringsrapport,
- is niet altijd de gebruiker van de installatie.

## 2.2 Methoden voor waterzijdig inregelen

In ISSO publicatie 56 [7] worden twee methoden beschreven voor het waterzijdig inregelen van individuele verwarmingsinstallaties. Hieronder wordt kort ingegaan op deze methoden. Voor een vollediger beschrijving wordt verwezen naar ISSO 56 [7].

### Voorinstelmethode

De voorinstelmethode houdt in dat de benodigde instellingen van de inregelvoorzieningen bepaald worden aan de hand van een leidingnetberekening en (door de fabrikant geleverde) karakteristieken van de inregelvoorzieningen in het CV-systeem. Indien alle informatie over het CV-systeem beschikbaar is, zijn er bij deze methode geen metingen nodig. De installatie hoeft ook niet aan te staan voor het waterzijdig inregelen volgens deze methode. De inschatting is dat met de voorinstelmethode de ontwerpvlomestroom met  $\pm 10\%$  afwijking kan worden ingesteld [7].

### Temperatuurmethode

Als er onvoldoende informatie is over het CV-systeem kan gekozen worden voor de temperatuurmethode. Hierbij wordt waterzijdig ingeregeld door in stationaire stooktoestand bij alle warmtegebruikers in de woning simultaan de delta-T te meten en op de gewenste waarde in te stellen. ISSO 56 onderscheidt hierbij situaties waarin de delta-T over de warmtegebruikers gelijk zou moeten zijn of juist ongelijk. Laatstgenoemde situatie leidt tot een aanzienlijk bewerkelijker methode, o.a. omdat hierbij ook luchttemperaturen van de ruimtes in de woning gemeten moeten worden. De inschatting is dat met de temperatuurmethode de ontwerpvlomestroom met  $\pm 20\%$  à  $30\%$  afwijking kan worden ingesteld [7].

Ten aanzien van de voorinstelmethode is in de praktijk gebleken dat niet altijd alle benodigde karakteristieken van de installatie componenten achterhaald kunnen worden. Dit geldt vooral voor de oudere CV-systemen. Fabrikanten beschikken soms niet meer over de gewenste karakteristieken van producten die ze inmiddels niet meer leveren. Ook kan het voorkomen dat een component niet is voorzien van een typeaanduiding, waardoor het achterhalen van de juiste gegevens bemoeilijkt wordt.

Uit praktijkonderzoek ([5]) is gebleken dat het moeilijk is om een stationaire situatie te realiseren in een CV-systeem van een woning. Samen met de eis dat de delta-T over alle warmtegebruikers *simultaan* gemeten moet worden, maakt dit de temperatuurmethode tot een praktisch gecompliceerde en arbeidsintensieve methode.

## 2.3 Effect van waterzijdig inregelen

Bij niet-ingeregelde installaties staan de afsluiters vaak helemaal open, terwijl de pomp in de hoogste stand staat. Het gevolg hiervan is dat de volumestromen door de warmtegebruikers groter kunnen zijn dan de ontwerpvlomestromen, resulterend in hogere retourtemperaturen. Ook het feit dat water via de ene warmtegebruiker sneller bij de ketel terug is dan via de andere leidt tot hogere retourtemperaturen. Door waterzijdig inregelen zal de delta-T over de warmtegebruikers toenemen en de gemiddelde retourtemperatuur dalen. Deze gemiddeld lagere retourtemperatuur kan energiebesparing tot gevolg hebben als hierdoor meer condensatie van rookgassen (in HR-ketels) plaatsvindt. In conventionele ketels leidt deze condensatie niet tot energiebesparing maar wel tot verhoogde corrosie. Hierbij moet opgemerkt worden dat conventionele ketels snel in aantal afnemen.

Na waterzijdig inregelen wordt de warmte in de juiste hoeveelheden op de juiste plaatsen afgegeven. In alle ruimtes van de woning zullen de ontwerptemperaturen gerealiseerd kunnen worden en verwarming van de woning verloopt gelijkmatiger. Dit kan een positief effect hebben op het thermisch comfort. Daarnaast is er een potentiële energiebesparing door een geringere overshoot van ruimtetemperatuur in vertrekken vlakbij de warmte-opwekker. Deze overshoot,

veroorzaakt door een onjuiste verdeling van volumestromen, kan versterkt worden doordat de gebruiker een hogere (dan ontwerptemperatuur) thermostaatstand instelt voor de woonkamer om ook de andere ruimtes op temperatuur te krijgen.

Het feit dat door waterzijdig inregelen in alle ruimtes van de woning de ontwerptemperaturen gehaald worden, kan echter ook een negatief effect hebben op de energiebesparing. Dit kan gebeuren als een woning voor het inregelen een aantal “koude” kamers had, die na inregelen wel goed op temperatuur komen. Door deze hogere binnentemperatuur nemen de energieverliezen toe. Als waterzijdig inregelen uiteindelijk resulteert in een gemiddeld warmere woning, dan kan de energiebehoefte voor ruimteverwarming zelfs toenemen.

De meeste CV-installaties bevatten een meer-standen circulatiepomp. Deze pompen, met veelal een grotere capaciteit dan benodigd, blijken in de praktijk vaak in de hoogste stand te staan. Het terugschakelen van deze pomp leidt tot een besparing op het elektriciteitsgebruik en kan tevens leiden tot een reductie van eventueel stromingsgeluid in het CV-systeem.

Over de mogelijke totale energiebesparing door waterzijdig inregelen variëren de meningen. Een recent praktijkonderzoek [5] meldt besparingen van gemiddeld 10% voor 4 eengezinswoningen gebouwd na 1990, gemiddeld 14% voor 5 meergezinswoningen gebouwd na 1990 en een toename in energiegebruik van gemiddeld 16% voor 6 eengezinswoningen gebouwd in de periode 1965-1975. In een ander, ouder, praktijkonderzoek [9] wordt geconcludeerd dat na het inregelen van een aantal woningen het energiegebruik met 38% afnam. De getallen uit deze onderzoeken laten een aanzienlijke spreiding zien. In paragraaf 2.4 wordt hierop verder ingegaan.

Soms wordt ook wel het sneller opwarmen van de woning genoemd als effect van waterzijdig inregelen. Dat de woning gelijkmatiger opwarmt is duidelijk, of het ook sneller gaat, hangt af van de situatie. Als na waterzijdig inregelen de gemiddelde woning temperatuur hoger ligt dan ervoor, dan zal in principe de woning juist trager aanwarmen. En kijkend naar individuele ruimtes kan de gebruiker ook iets anders (dan “sneller”) ervaren, bijvoorbeeld als door waterzijdig inregelen de volumestroom naar de woonkamer is verminderd ten gunste van de slaapkamers. Het trager aanwarmen van de woonkamer kan de gebruiker de algemene indruk geven dat “de woning” trager opwarmt.

## 2.4 Beschikbaar praktijkonderzoek

Er zijn niet veel objectieve praktijkonderzoeken beschikbaar over waterzijdig inregelen in de Nederlandse bestaande woningvoorraad. Het meest recent is een proef in 15 woningen (verdeeld over 3 categorieën), uitgevoerd in 2002 in opdracht van Novem.

Ter voorbereiding op dit praktijkonderzoek is een inventarisatie uitgevoerd waarin vastgesteld is voor welke woningcategorieën waterzijdig inregelen het meest veelbelovende besparingspotentieel heeft. Daarbij is het totale woningbestand geanalyseerd op kenmerken ontleend aan een TNO-studie [8], die van belang worden geacht voor waterzijdig inregelen, zoals o.a. het type woning (eengezins- of meergezinswoning), de mate van (na-)isolatie en het type installatie.

Deze inventarisatie heeft geleid tot de keuze voor de volgende drie categorieën woningen:

- Eengezinswoningen, gebouwd in de periode 1965-1975 (6 woningen, 2x VR-, 4x HR-ketel). Deze woningen zijn gebouwd met een CV-systeem en later na-geïsoleerd. Er kan dus sprake zijn van overcapaciteit in deze woningen.
- Eengezinswoningen, gebouwd na 1990 (4 woningen, HR-ketel). Deze woningen zijn goed geïsoleerd gebouwd met afgestemd CV-systeem.
- Meergezinswoningen, gebouwd na 1990 (5 woningen, HR-ketel). Deze woningen zijn goed geïsoleerd gebouwd met afgestemd CV-systeem.

In een aantal woningen uit elk van bovenstaande categorieën is voor en na waterzijdig inregelen (volgens de voorinstelmethode) het energiegebruik gemeten. Onderstaande tabel toont een samenvatting van de resultaten.

Tabel 1 *Verskil gemeten energiegebruik voor en na waterzijdig inregelen CV-systemen in praktijkonderzoek [5]*

<b>Wijziging in energiegebruik per categorie</b>	<b>Gemiddeld</b>	<b>Variatie</b>
Eengezinswoningen, 1965-1975	+16%	-7% tot +41%
Meergezinswoningen, na 1990	-14%	-39% tot +4%
Eengezinswoningen, na 1990	-10%	-32% tot +20%

Conclusie van het praktijkonderzoek [5] is dat er een grote spreiding is in dagelijks gasgebruik per woning en voor de woningen onderling. Voor kwantitatieve conclusies is de steekproef van 15 woningen te klein, de meetperiode te kort en de variatie in berekende energiebesparing te groot. Deze variatie wordt gedeeltelijk veroorzaakt door het bewonersgedrag. Op basis van de uitkomsten worden wel een aantal hoofdlijnen geformuleerd:

- Het waterzijdig inregelen resulteerde in een grotere delta-T over het CV-systeem. Dit blijkt vooral veroorzaakt te worden door een hogere aanvoertemperatuur (deels een gevolg van lagere pomp instelling) en veel minder (dan verwacht) door een lagere retourtemperatuur. Er kan geen duidelijk verband gevonden worden tussen delta-T en energiebesparing.
- De conclusie van de onderzoekers is dat de ruimtetemperatuur door veel factoren wordt bepaald en dat het effect van waterzijdig inregelen op de ruimtetemperaturen niet kan worden teruggevonden in de metingen.
- Woningen met een kleine tijdconstante in fluctuaties van CV-temperaturen en woonkamertemperatuur lijken meer baat te hebben bij waterzijdig inregelen (bepaald door ketel modulatie, aanwezige overcapaciteit ketelvermogen, schakeldifferentie ruimtethermostaat en nauwkeurigheid van inregelen). Modulerende ketels in combinatie met een kleine schakeldifferentie van de ruimtethermostaat geven een quasi-stationair gedrag van de installatie. De tijdconstante neemt toe naarmate de schakeldifferentie van de thermostaat groter is en naarmate de waterinhoud van het CV-systeem groter is.

De onderzoekers stellen dat het niet verantwoord is de resultaten van deze woningen te extrapoleren naar andere woningcategorieën omdat de besparing bepaald lijkt te worden door een onbekend complex aan factoren. Welke woningkenmerken van belang zijn voor het energiebesparingseffect is niet voldoende duidelijk geworden in dit onderzoek.

Andere ervaringen die tijdens het onderzoek [5], [15] zijn opgedaan, zijn:

- Particulier aangelegde installaties zijn vaak niet voorzien van inregelvoorzieningen.
- Van een aantal oudere inregelvoorzieningen was geen documentatie te achterhalen, omdat het betreffende merk niet meer bestaat. Bij sommige voorzieningen was het moeilijk de documentatie te achterhalen door het ontbreken van een typeaanduiding op de voorziening. In een aantal gevallen kon documentatie van componenttypen die niet meer leverbaar zijn niet meer gevonden worden. Ook lijken fabrikanten en leveranciers niet voorbereid op vragen betreffende waterzijdig inregelen. Niet alle documentatie bleek even duidelijk over de te volgen procedures.
- Voor sommige inregelvoorzieningen is een aparte sleutel nodig.
- Sommige inregelvoorzieningen waren slecht of niet bereikbaar, ofwel doordat de installateur er geen rekening mee heeft gehouden bij het installeren ofwel doordat bewoners de voorzieningen hebben afgeschermd achter betimmeringen.
- Aanwezige inregelvoorzieningen zijn vaak niet goed op elkaar en het CV-systeem afgestemd.
- Sommige inregelvoorzieningen zijn moeilijk instelbaar door de gekozen schaalverdeling in combinatie met de benodigde instelling.

- Alle pompen konden op de laagste stand ingesteld worden. De besparing op pompenergie ligt tussen 20 W en 50 W (ca. 45 kWh primaire energie per jaar).
- De delta-T over de warmtegebruikers bereikt geen stationaire waarden. De inhoud van de warmtegebruikers speelt hierbij een rol, omdat deze inhoud bepaalt hoe lang het duurt voordat een toenemende aanvoertemperatuur (bij het aanspringen van de ketel) gevolgd wordt door een toenemende retourtemperatuur.
- Zoals vermeld in voorgaande paragraaf kan waterzijdig inregelen ertoe leiden dat de woning of bijvoorbeeld de woonkamer trager aanwarmt en dat de stralingswarmte minder wordt. Dit wordt door de bewoner gezien als comfort verlies en het komt voor dat bewoners hierom het inregelen weer ongedaan laten maken. Dit effect is nog sterker voor na-geïsoleerde woningen, de capaciteit van het CV-systeem raakt dan sterk overgedimensioneerd waardoor de bewoner een zeer snelle aanwarming van bijvoorbeeld de woonkamer gewend is.
- Leidingnetberekeningen, de basis voor goed waterzijdig inregelen, gaan er van uit dat alle tussendeuren gesloten zijn, dat alle radiatoren open staan en dat het CV-systeem stationair werkt. Dit hoeft niet in overeenstemming te zijn met de praktijk.

Samenvattend kan gesteld worden dat op basis van het onderzoek geen duidelijke relaties kunnen worden gelegd tussen woningkenmerken en het effect van waterzijdig inregelen. De metingen bevatten naast het effect van waterzijdig inregelen op het energiegebruik ook een substantieel effect van onbekend bewonersgedrag, resulterend in onzekerheden in de getalsmatige uitkomsten van het onderzoek. De steekproef lijkt te klein en de meetperiode te kort om duidelijke trends aan te geven. Het onderzoek levert wel waardevolle praktijkervaringen ten aanzien van waterzijdig inregelen.

Een ander, minder recent praktijkonderzoek betreft een proef in 66 woningen in 1983 [9], [13]. De proef betrof een energetisch vergelijk tussen 32 woningen met een HR-ketel en de overige (identieke) woningen met een conventionele ketel. Het CV-systeem is een tweepijp-systeem, met de ketel op zolder [8]. Oorspronkelijk was geen van de CV-systemen waterzijdig ingeregeld en de pompen waren op de hoogste stand ingesteld. Als inregelvoorziening zijn radiatorafsluiters opgenomen.

Alle woningen zouden voor aanvang van het project waterzijdig worden ingeregeld, omdat een berekening had aangetoond dat dit een energiebesparing zou opleveren. Er zijn in één woning metingen verricht om deze berekening te verifiëren. Hierbij bleek dat na inregelen de ketel 11% minder vermogen afgaf bij vergelijkbare buitencondities. En de delta-T over de ketel nam toe met slechts 1°C, terwijl de retourtemperatuur met 7°C daalde.

Gedurende het onderzoek echter bleken 5 woningen met een HR-ketel per ongeluk niet te zijn ingeregeld. Nadat ook deze woningen alsnog waren ingeregeld, werd geconstateerd dat het niet inregelen een verhoogd energiegebruik tot gevolg had. Betreffende dit onderzoek noemt [8] een gemiddelde besparing van 27%, terwijl [9] spreekt van een vermeden verhoogd energiegebruik van 38%. Ondanks dat het identieke woningen betrof, werd ook hier een zekere spreiding gevonden in de gemeten energiebesparing door waterzijdig inregelen. Deze spreiding kan het gevolg zijn van bewonersgedrag.

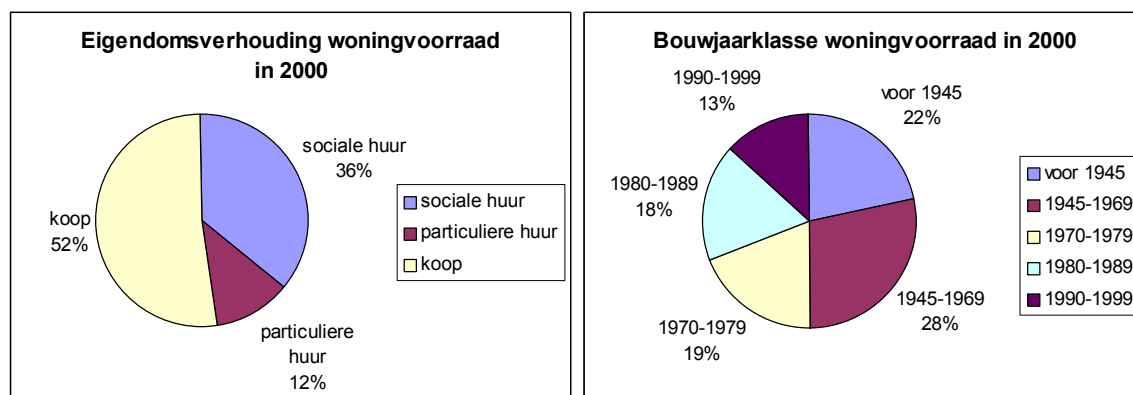
## 2.5 Korte marktverkenning

Deze studie richt zich op een bepaald deel van de Nederlandse gebouwde omgeving. Met als doel een globaal beeld te krijgen van de eigenschappen van dit deel, is een korte marktverkenning uitgevoerd. Hierbij is o.a. gebruik gemaakt van het Basisonderzoek Aardgasverbruik Kleinverbruikers BAK en de Kwalitatieve Woningregistratie KWR. De meest recente versies van laatstgenoemde onderzoeken betreffen momenteel het jaar 2000. De marktverkenning is dan ook gericht op de stand van zaken in 2000.

### 2.5.1 Nederlandse woningvoorraad

In 2000 telt Nederland ca. 6.588.000 woningen volgens KWR 2000 [1], [2]. Ca. 71% van deze woningen is van het type eengezinswoning en ca. 29% van het type meergezinswoning.

Onderstaande grafieken geven een overzicht van de eigendomsverhouding en de bouwjaarklasse van de woningvoorraad in 2000.



Figuur 1 Eigendomsverhouding [2] en bouwjaarklassen (bron CBS) van de woningvoorraad in 2000

Meer dan de helft van de woningvoorraad bestaat uit koopwoningen. Het aandeel koopwoningen is met ca. 4 procentpunt gestegen t.o.v. 1995, tegenover een daling van 2 procentpunt voor zowel de sociale als de particuliere huurwoningen [2].

De indeling in bouwjaarklassen laat zien dat ca. 50% van de woningvoorraad van voor 1970 stamt. Ca. 13% is na 1989 gebouwd.

### 2.5.2 Type ruimteverwarming

In 2000 beschikt ca. 80% van de woningen over een individuele cv-installatie. Ca. 9% maakt gebruik van lokale verwarming en ca. 11% is aangesloten op stads-/blokverwarming. Het is de verwachting dat het aandeel van woningen met lokale verwarming in de komende jaren zal afnemen. Dit als gevolg van sloop van deze woningen of door het ombouwen naar centrale verwarming.

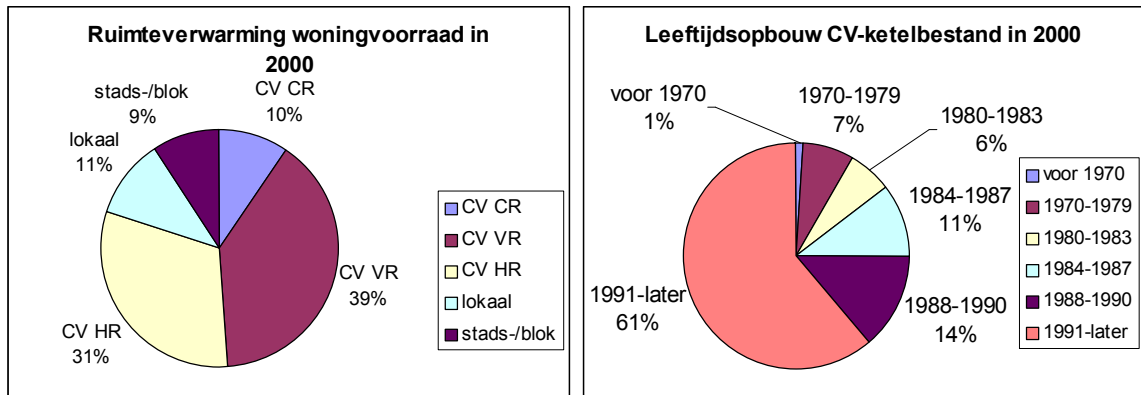
In nieuwbouw woningen wordt momenteel voornamelijk individuele centrale verwarming toegepast. Volgens het Basisonderzoek Aardgasverbruik Kleinverbruikers BAK 2000 [3] is ruim 90% van de woningen gebouwd na 1990 voorzien van dit type installatie, resulterend in 5.140.000 individuele cv-installaties in 2000. Ca. 75% van deze installaties heeft een ingebouwde warm tapwater voorziening (combi) [3].

In de KWR 2000 [1] is bij de woningen met een individuele cv een verschuiving geconstateerd in de richting van hogere rendementen. Het aandeel van de ketels met conventioneel rendement (CR) daalt met 17 procentpunt tot 10%. Het aandeel van de VR-ketel (verbeterd rendement) is t.o.v. 1995 met 5 procentpunt gestegen naar 39% en van de HR-ketel (hoog rendement) met 17 procentpunt tot 31%<sup>1</sup>. Deze percentages zijn gebaseerd op de totale woningvoorraad.

Bij vervanging van de ketel wordt in de sociale huursector meestal gekozen voor de VR-ketel, terwijl in de koopsector meestal de voorkeur wordt gegeven aan de HR-ketel [1]. Eengezinswoningen blijken bijna twee maal zo vaak te beschikken over een HR-ketel dan meergezinswoningen [1]. VR-ketels komen meer voor in de bouwjaarklassen na 1970 en HR-ketels juist in de bouwjaarklassen voor 1946 [1].

In onderstaande grafieken wordt een overzicht gegeven van de soorten verwarming en de leeftijdsopbouw van het ketelbestand in de woningvoorraad in 2000.

<sup>1</sup> BAK 2000 [3] geeft voor de HR-ketel een "maximale penetratie" van ca. 29%.



Figuur 2 Soort verwarming [2] (conventioneel, verbeterd of hoog rendement, lokale of stads/blok verwarming) en leeftijdsopbouw van het CV-ketelbestand [3] van de woningvoorraad in 2000

### 2.5.3 Gasverbruik voor ruimteverwarming

Het gasverbruik voor woningen met individuele centrale verwarming, ontleend aan het Basisonderzoek Aardgasverbruik Kleinverbruikers BAK 2000 [3], staat weergegeven in tabel 2 voor een aantal typen woningen en bouwjaarklassen. De tabel laat zien dat het gasverbruik toeneemt naarmate de woning groter en/of ouder is. Zo heeft een vooroorlogse vrijstaande woning een ca. twee keer zo hoog gasverbruik als een moderne rijtjeswoning en ca. drie keer zo hoog als een moderne flat. Het gemiddelde gasverbruik voor ruimteverwarming voor de totale woningvoorraad is 1580 m<sup>3</sup>.

Het gemiddelde aardgasverbruik voor lokale verwarming is volgens BAK 2000 [3] ca. 1315 m<sup>3</sup>. Dit totaal gemiddelde kan onderverdeeld worden in gemiddeld 1465 m<sup>3</sup> voor eengezinswoningen en 990 m<sup>3</sup> voor meergezinswoningen.

Tabel 2 Gasverbruik in m<sup>3</sup> voor centrale verwarming, volgens BAK 2000 [3]

	Voor 1945	1945 tot 1981	1981 en later	Totaal
Vrijstaand	2405	2725	1835	2375
2-onder-1- kap	2205	1890	1390	1765
Rij-hoekwoning	1950	1835	1245	1720
Rij-tussenwoning	1595	1485	1055	1380
Flat	1780	1005	780	1015
<b>Totaal</b>	<b>1985</b>	<b>1695</b>	<b>1180</b>	<b>1580</b>

Uit de uitgevoerde literatuurstudie blijkt dat op dit moment nog onvoldoende duidelijk is welke energiebesparing met waterzijdig inregelen gerealiseerd kan worden als functie van de kenmerken van de woning. Hierdoor is het vooralsnog niet mogelijk een schatting te maken voor het besparingspotentieel van waterzijdig inregelen in woningen. Op het moment dat het energiebesparingseffect van waterzijdig inregelen in kaart is gebracht, kan het besparingspotentieel bepaald worden als er betrouwbare statistieken beschikbaar zijn ten aanzien van de relevante woningkenmerken.





## 3. PARAMETERS VOOR CV-OPTIMALISATIE

### 3.1 Inventarisatie parameters

Hoe waterzijdig inregelen in theorie kan leiden tot energiebesparing en comfort verhoging is bekend. Uit praktijkonderzoek blijkt echter dat de verwachte energiebesparing niet altijd wordt gehaald, dat de besparing voor schijnbaar identieke woningen verschillend is of dat het energiegebruik voor ruimteverwarming juist toeneemt na waterzijdig inregelen. Ook ten aanzien van het comfort zijn de ervaringen in de praktijk wisselend. Het effect van waterzijdig inregelen lijkt dus door meer parameters te worden bepaald dan er bij het waterzijdig inregelen op zich aan bod komen. Er is een inventarisatie gemaakt van de parameters die mogelijk een rol spelen, waarna op kwalitatieve wijze de relevantie van deze parameters wordt geanalyseerd. Het doel is te komen tot een selectie van parameters die het effect van waterzijdig inregelen in grote mate bepalen. Belangrijk hierbij is de praktische haalbaarheid van het aanpassen van deze parameters in een woning. Voor de inventarisatie is gebruik gemaakt van de beschikbare literatuur zoals vermeld in het literatuuroverzicht in dit rapport. Uitgangspunt bij de inventarisatie is dat de waterdruk in het CV-systeem correct is en dat het systeem goed ontlucht is.

De parameters zijn ingedeeld in twee groepen:

- Groep 1: Parameters die gewijzigd kunnen worden, eventueel met beperkte kosten, indien dit relevant en rendabel is voor CV-optimalisatie. Deze parameters betreffen vooral de inregelvoorzieningen en enkele aspecten van het CV-systeem.
- Groep 2: Parameters die niet of moeilijk gewijzigd kunnen worden in het kader van CV-optimalisatie. Deze parameters betreffen vooral het CV-systeem en de woning, inclusief bewoners.

De doelstelling is om de kosten voor waterzijdig inregelen binnen een terugverdientijd van 5 jaar te houden, bij een energiebesparing van minimaal 10%. Dit betekent dat er, bij huidig prijsniveau, ca. €350,-<sup>2</sup> beschikbaar is voor waterzijdig inregelen. Hiermee kan, bij benadering, een installatietechnisch monteur ca. een dag per woning besteden aan inregelen of ca. een halve dag plus de aanschaf van enkele relatief eenvoudige en goedkope componenten. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de beschikbare ruimte toeneemt als er sprake is van meerdere, identieke woningen met een identiek CV-systeem. De benodigde tijd voor analyse van de suboptimale situatie en bepaling van de gewenste instellingen per woning neemt immers af bij een toenemend aantal woningen waarin deze situatie voorkomt.

#### 3.1.1 Groep 1: te wijzigen parameters

##### 3.1.1.1 Inregelvoorzieningen

###### 1. Aanwezigheid inregelvoorzieningen

Vooral de oudere en/of particulier aangelegde CV-systemen zijn vaak niet (volledig) voorzien van inregelvoorzieningen. In de nieuwbouw woningen is de situatie beter, maar ook hier wordt nog onvoldoende rekening gehouden met waterzijdig inregelen.

Effect: waterzijdig inregelen is niet mogelijk zonder aanpassing van het CV-systeem indien inregelvoorzieningen niet aanwezig zijn.

###### 2. Bereikbaarheid inregelvoorzieningen

Vaak wordt er onvoldoende rekening gehouden met waterzijdig inregelen bij het aanleggen van een CV-systeem met als gevolg dat inregelvoorzieningen zich op slecht bereikbare of onbereikbare plaatsen bevinden. Bij het inregelen van systemen in de bestaande woningbouw

---

<sup>2</sup> 5 jaar x 10% x 1580 m<sup>3</sup> gas x € 0,46 per m<sup>3</sup> gas (variabele kosten) • € 350,-

kan het ook voorkomen dat de bereikbaarheid een probleem is als gevolg van de inrichting van de woning door de bewoners.

Effect: waterzijdig inregelen is niet of moeilijk uit te voeren bij slechte bereikbaarheid van de inregelvoorzieningen. Uitgaande van een mogelijke situatie waarbij slechts één warmtegebruiker in een woning echt onbereikbaar is, geldt het volgende:

Indien de warmtegebruiker met onbereikbare inregelvoorziening te weinig water krijgt, dan kan waterzijdig inregelen toch (bij benadering) het gewenste effect hebben. Dit omdat de volumestroom door deze warmtegebruiker toeneemt doordat één of meerdere van de andere warmtegebruikers minder water krijgen als gevolg van waterzijdig inregelen.

Indien de betreffende warmtegebruiker teveel water krijgt, dan zal naar verwachting waterzijdig inregelen niet het gewenste effect hebben, omdat door het juist instellen van de andere warmtegebruikers de verdeling van volumestromen niet op orde kan worden gebracht.

### 3. Nauwkeurigheid inregelvoorzieningen

De nauwkeurigheid van de inregelvoorzieningen in een CV-systeem bepaalt in belangrijke mate het te behalen resultaat. Het gaat hierbij om de nauwkeurigheid waarmee inregelvoorzieningen kunnen worden ingesteld op de gewenste doorstroom. Hierbij is de theoretische nauwkeurigheid van belang, maar ook de praktische uitvoerbaarheid van het instellen. Zo kan bijvoorbeeld een nauwkeurige afsluiter in de praktijk niet voldoen als voor de juiste instelling de voorinstelschroef slechts enkele graden moet worden verdraaid.

Een mogelijkheid is het reduceren van de pompdruk (bijvoorbeeld door extra smoring bij de pomp), zodat het werkpunt van de inregelvoorzieningen centraler in het regelbereik komt te liggen. De onderlinge afstemming van de inregelvoorzieningen is hierbij ook van invloed.

Effect: de onnauwkeurigheid van de inregelvoorzieningen heeft een negatief effect op de nauwkeurigheid van waterzijdig inregelen. Door de onnauwkeurigheid van de inregelvoorzieningen wordt de volumestroom niet exact op de juiste waarde ingesteld. Uit de radiatorgrafiek kan worden afgeleid dat een te lage volumestroom een groter effect heeft op de warmte afgifte dan een te hoge volumestroom [9]. Naar verwachting zal door deze onnauwkeurigheid een deel van de potentiële energiebesparing door waterzijdig inregelen niet gerealiseerd kunnen worden.

### 4. Afstemming inregelvoorzieningen op pomp

Het drukverschil dat inregelvoorzieningen kunnen wegsmoren moet voor nauwkeurig inregelen afgestemd zijn op wat de pomp levert bij de gekozen instelling. Zo kunnen bijvoorbeeld radiatorafsluiters met slagbegrenzing ca. 3 à 4 kPa wegsmoren, terwijl CV-pompen veelal al 20 kPa leveren in de laagste stand [6]. Een mogelijkheid is het reduceren van de pompdruk (bijvoorbeeld door extra smoring bij de pomp), zodat het werkpunt van de inregelvoorzieningen centraler in het regelbereik komt te liggen.

Effect: slecht onderling afgestemde voorzieningen hebben een negatief effect op de nauwkeurigheid van waterzijdig inregelen. Zoals vermeld bij parameter 3 zal, naar verwachting, door deze onnauwkeurigheid een deel van de potentiële energiebesparing door waterzijdig inregelen niet gerealiseerd kunnen worden.

#### 3.1.1.2 CV-systeem

### 5. Type en instellingen thermostaat

Het type thermostaat betreft aspecten zoals de versnellingsweerstand i.v.m. schakeldifferentie, de dode band, het schakelprogramma en het anticiperend vermogen.

Indien de warmtegebruikers in de ruimte met thermostaat te lage volumestromen hebben, dan zal het systeem traag en daardoor onnauwkeurig reageren. Een goede thermostaat kan hier niet veel aan verbeteren. Een gevolg van deze trage reactie zou kunnen zijn dat bewoners de thermostaat op een hogere temperatuur instellen om voldoende comfort te realiseren.

Bij te hoge volumestromen door de warmtegebruikers in de ruimte met thermostaat, zal er een overshoot in ruimtetemperatuur kunnen optreden. Een goed reagerende thermostaat zou deze overshoot kunnen verminderen.

In een praktijkonderzoek [5] is geconstateerd dat bij modulerende ketels, in combinatie met de juiste thermostaat (hoge schakelfrequentie), quasi-stationaire CV-temperaturen ontstaan in het CV-systeem. Het lijkt of deze systemen meer baat hebben bij waterzijdig inregelen dan systemen met lage frequenties en een niet-modulerende ketel.

Bij de veelvuldig voorkomende kamerthermostaat met warmteversnellingsweerstand (anticipatie-element) is de instelling van deze weerstand van invloed op het gedrag van het CV-systeem. Bij hogere instelling (meer stroom door element, sterker anticiperend gedrag) van dit element zal de schakelfrequentie van de ketel afnemen en de ketelwatertemperatuur grotere schommelingen vertonen [16].

## 6. Positie thermostaat

Veelal bevindt de thermostaat zich in de woonkamer. Het CV-systeem houdt hiermee de temperatuur in de woonkamer op de gewenste waarde. De hoeveelheid warmte die naar de overige vertrekken gaat, hangt af van de tijd die nodig is om de woonkamer op temperatuur te krijgen en de verdeling van volumestromen over de verschillende warmtegebruikers. Als de thermostaat zich niet in de woonkamer bevindt, dan zou bij een voorkeursstroming door de woonkamer de overshoot in ruimtetemperatuur in de woonkamer groter kunnen zijn dan wanneer de thermostaat zich in de woonkamer bevindt. Dit resulteert in een hoger energiegebruik dan noodzakelijk voor de woonkamer.

Indien de ruimte met thermostaat te weinig water krijgt, dan kan het relatief lang duren voordat deze ruimte op temperatuur is en de ketel uitgeschakeld wordt. In deze tijd kan in één of meerdere andere ruimten de temperatuur hoger worden dan de ontwerptemperatuur. Door waterzijdig inregelen kan deze overshoot verminderd worden, hetgeen een energiebesparing tot gevolg heeft in deze ruimten.

Indien de ruimte met thermostaat teveel water krijgt, dan is deze ruimte relatief snel op temperatuur. Eén of meerdere andere ruimten in de woning halen misschien niet de ontwerptemperatuur voordat de ketel uitgeschakeld wordt. Waterzijdig inregelen kan in dit geval resulteren in een gemiddeld warmere woning, waardoor het energiegebruik uiteindelijk zelfs kan toenemen.

## 7. Ketelinstellingen

Ketelinstellingen zoals maximale CV-aanvoertemperatuur en nadraaitijden van de pomp kunnen invloed hebben op het effect van waterzijdig inregelen.

De maximale CV-aanvoertemperatuur is van invloed op zowel comfort als energiegebruik. Een te lage instelling resulteert in veelvuldig schakelen (pendelen) van de ketel om aan de warmtebehoefte te voldoen. Een te hoge instelling kan, in combinatie met een trage regeling, leiden tot een temperatuur overshoot in de woning. De nadraaitijd van de pomp bepaalt hoeveel van de warmte uit de ketel en de aanvoerleidingen na het uitschakelen van de ketel alsnog in de warmtegebruikers terechtkomt. Een trage regeling in combinatie met een lange nadraaitijd van de pomp zal de temperatuur overshoot nadelig beïnvloeden.

## 8. Pomp instelling

Uit recent praktijkonderzoek [5] bleek in alle betreffende woningen de CV-pomp op de hoogste stand te zijn ingesteld. In alle gevallen kon deze pomp, op basis van een leidingnetberekening, op de laagste stand worden ingesteld. Dit resulteert in een vermogensreductie (in het praktijkonderzoek [5] ca. 20 W tot 50 W ofwel ca. 45 kWh primaire energie per jaar) en mogelijk ook in een geluidsreductie in het CV-systeem. Het reduceren van de pompdruk resulteert ook in het nauwkeuriger waterzijdig kunnen inregelen, doordat bij de inregelvoorzieningen minder druk hoeft te worden weggered.

Een lagere volumestroom zal naar verwachting tot gevolg hebben dat de delta-T over de warmtegebruikers toeneemt. Enerzijds kan de retourtemperatuur dalen door verdere uitkoeling in de warmtegebruikers. Anderzijds kan de aanvoertemperatuur toenemen als bij gelijkblijvend brandervermogen een kleinere volumestroom wordt opgewarmd.

Bij lagere pomp instellingen neemt de opwarmtijd toe evenals de kans op pendelen van de ketel. Hogere pomp instellingen leiden over het algemeen tot betere regelprestaties.

Effect: het instellen van de pomp op de juiste stand resulteert veelal in een energiebesparing, in nauwkeuriger kunnen inregelen en mogelijk ook in een geluidsreductie in het CV-systeem.

#### 9. Aanwezigheid TRA's

Eventuele thermostatische radiatorafsluiters (TRA's) kunnen het door waterzijdig inregelen ingestelde evenwicht in volumestromen beïnvloeden. Dit omdat de TRA na het opwarmen van een ruimte dichtloopt. Thermostatische radiatorafsluiters kunnen daarmee het effect van waterzijdig inregelen negatief beïnvloeden. De gekozen instelling van de TRA bepaalt welk gedeelte van de bedrijfstijd van het CV-systeem de TRA dicht zal staan en daarmee ook welk gedeelte van de potentiële energiebesparing gerealiseerd kan worden door waterzijdig inregelen.

### 3.1.2 Groep 2: niet of moeilijk te wijzigen parameters

#### 3.1.2.1 Inregelvoorzieningen

##### 10. Beschikbaarheid doorstroomdiagrammen van hulpstukken

Bij fabrikanten zijn de doorstroomdiagrammen van inregelhulpstukken die niet meer geleverd worden veelal niet meer beschikbaar. Voor het goed kunnen inregelen van CV-systemen in de bestaande woningbouw is deze informatie echter wel noodzakelijk.

Effect: het niet beschikbaar zijn van de karakteristieken van inregelvoorzieningen heeft een negatief effect op de nauwkeurigheid van waterzijdig inregelen, omdat volgens ISSO 56 [7] in dit geval de temperatuurmethode moet worden gebruikt i.p.v. de voorinstelmethode. Een alternatief zou kunnen zijn om in te regelen op basis van flowmetingen bij de warmtegebruikers, maar hiervoor zijn meetnippels en speciale meetapparatuur nodig. Het vaak moeizame proces van het achterhalen van deze karakteristieken heeft een negatief effect op de benodigde tijd voor waterzijdig inregelen.

#### 3.1.2.2 CV-systeem

##### 11. Type installatie (individueel of collectief)

De in de woning te verrichten handelingen voor een woning met een individuele installatie en een woning aangesloten op een collectieve installatie zijn in essentie identiek. Bij collectieve installaties moet echter vooraf gecontroleerd worden of de verschillende woningen op een strang allen de juiste hoeveelheid water krijgen.

##### 12. Eenpijp- of tweepijp-systeem

Volgens [8] is de besparing bij een (beperkt voorkomend) eenpijp-systeem kleiner dan bij een tweepijp-systeem. Inregelen bij een eenpijp-systeem zou eenvoudiger zijn, omdat er in essentie maar één circuit is (t.o.v. een tweepijp-systeem waar elke warmtegebruiker een circuit vormt met de ketel).

##### 13. Waterinhoud van CV-systeem

CV-systemen met een groot watervolume, zoals bijvoorbeeld het geval bij led radiator, reageren trager dan systemen met plaatradiatoren of convectoren. In het algemeen worden led radiator gecombineerd met plaatradiatoren in andere vertrekken. Het grote watervolume beïnvloedt de regelbaarheid van het CV-systeem en daarmee mogelijk ook het energiegebruik. In een praktijkonderzoek [5] is geconstateerd dat comfort klachten kunnen ontstaan als na waterzijdig inregelen de led radiator tijdens een schakelperiode van de ketel niet meer volledig op temperatuur komen.

##### 14. Capaciteit van CV-systeem

De capaciteit van het CV-systeem bepaalt de waterinhoud, het vermogen van de ketel, het aantal radiatoren etc. Omdat zowel voor utiliteitsgebouwen als voor nieuwbouw woningen met waterzijdig inregelen energiebesparingen zijn gerealiseerd, lijkt deze parameter niet bepalend voor het effect van waterzijdig inregelen.

#### 15. Type ketel (rendement, combi en modulatie)

De veronderstelling is dat door waterzijdig inregelen de retourtemperatuur van het CV-systeem daalt. Bij een daling tot onder ca. 58°C kan dit in het geval van een HR-ketel een energiebesparing opleveren door condensatie van rookgassen in de ketel. Dergelijk lage retourtemperaturen kunnen echter ook veelvuldig voorkomen als de (niet-ingeregelde) installatie in deellast werkt, bijvoorbeeld in de tussenseizoenen. De mogelijke energiebesparing door waterzijdig inregelen zal dus naar verwachting lager zijn bij modulerende ketels.

In een praktijkonderzoek [5] is geconstateerd dat bij modulerende ketels, in combinatie met de juiste thermostaat (hoge schakelfrequentie), quasi-stationaire CV-temperaturen ontstaan in het CV-systeem. Het lijkt of deze systemen meer baat hebben bij waterzijdig inregelen dan systemen met lage frequenties en een niet-modulerende ketel.

Bij een combiketel wordt op basis van beschikbare informatie geen significante invloed verwacht van het warm tapwatergebruik op de energiebesparing door waterzijdig inregelen.

#### 16. Plaats van de ketel

Volgens [8] is bij zolderopstelling de besparing het grootst. Bij toestelopstelling op zolder en temperatuurregeling in de woonkamer zouden de ruimtes op de eerste verdieping eerder warm kunnen worden dan de woonkamer. In hoeverre de leidinglengtes bepalen hoe de voorkeursstroming loopt, is echter afhankelijk van de andere componenten in het CV-systeem. Verwacht wordt dat vooral de drukval over de warmtegebruikers (inclusief inregelvoorziening) bepalend zal zijn voor de voorkeursstroming en dat de relatieve positie van de ketel minder van belang is. De berekeningen van Cauberg-Huygen ter voorbereiding op het inregelen in het praktijkonderzoek beschreven in [5] bevestigen dit [15]. Een eventuele verdeling van warmtegebruikers in meerdere strangen speelt hierbij ook een rol.

#### 17. Afstemming CV-systeem op energieverliezen

Het CV-systeem in een woning kan overgedimensioneerd zijn, bijvoorbeeld door bepaalde keuzes tijdens het ontwerp of door na-isolatie van (een gedeelte van) de woning. Door waterzijdig inregelen kan in principe in dit geval de retourtemperatuur extra dalen. Bij een ondergedimensioneerd systeem zal de retourtemperatuur minder of niet kunnen dalen.

#### 18. Type pomp (wel of niet toerengeregeld)

In het praktijkonderzoek naar waterzijdig inregelen in woningen is tot nu toe alleen gekeken naar niet-toerengeregelde pompen. In alle gevallen [5] bleek de pomp te hoog te zijn ingesteld, de laagste stand was voldoende (zie ook parameter "pomp instelling").

In de nieuwere CV-systemen kunnen toerengeregelde circulatiepompen voorkomen. Het is mogelijk dat deze pompen van invloed zijn op het effect van waterzijdig inregelen, omdat deze pompen de volumestroom door het CV-systeem beïnvloeden.

#### 19. Type besturing

Het is mogelijk dat de besturing (op basis van binnentemperatuur, buitentemperatuur of ruimtetemperatuur compensatie) van het CV-systeem invloed heeft op het effect van waterzijdig inregelen.

In [16] wordt met simulaties aangetoond dat een regeling op basis van buiten- en binnentemperatuur resulteert in kleinere schommelingen in ketelwatertemperatuur t.o.v. een aan-uit regeling op basis van binnentemperatuur. Nadeel is wel dat voor niet-modulerende ketels de schakelfrequentie sterk toeneemt.

#### 20. Type radiatoren

Het effect van het type radiatoren wordt beschreven bij het punt "waterinhoud van het CV-systeem".

### 3.1.2.3 Woning en bewoners

#### 21. Type woning (eengezins of meergezins)

De aanduiding eengezins- of meergezinswoning omhelst zodanig veel verschillende soorten woningen en CV-systemen dat de aanduiding op zich niet relevant is voor waterzijdig inregelen.

#### 22. Mate van isolatie

Door waterzijdig inregelen kan in één of meerdere vertrekken de gemiddelde ruimtetemperatuur toenemen als gevolg van de betere warmteverdeling over de woning. De isolatie van de woning bepaalt de grootte van het energieverlies door de gebouwschil als gevolg van deze hogere ruimtetemperatuur. De mate van isolatie lijkt dus te bepalen hoe groot de energiebesparing is na waterzijdig inregelen en niet of er energiebesparing is. Verder bepaalt de mate van na-isolatie mede in hoeverre er sprake is van overcapaciteit in het CV-systeem, zie parameter "afstemming CV-systeem op energieverliezen".

#### 23. Ventilatiesysteem

Het ventilatiesysteem in de woning is van invloed van de energieverliezen die gecompenseerd moeten worden met het CV-systeem. Deze verliezen moeten meegenomen in de capaciteitsbepaling van de warmtegebruiker per vertrek.

#### 24. Specifiek werkzame massa

De specifiek werkzame massa van een woning bepaalt mede de comfortbeleving van de bewoner en speelt o.a. een rol bij het aanwarmen van de woning na een tijdelijke verlaging in temperatuur (bijv. nachtverlaging). De specifiek werkzame massa bepaalt mede hoe lang de woning warmte kan vasthouden en hoe lang het duurt voor de woning op de gewenste temperatuur is.

De werkzame massa van een woning reageert veel trager op veranderingen dan het CV-systeem. De invloed van deze massa op het gedrag van het CV-systeem is daarmee naar verwachting ook niet relevant voor de energiebesparing door waterzijdig inregelen.

#### 25. Wel of niet verwarmen slaapvertrekken

Bij niet-ingeregelde CV-systemen kan het voorkomen dat de slaapvertrekken niet de juiste hoeveelheid (te weinig of te veel) warmte krijgen. Met waterzijdig inregelen wordt deze verdeling van warmte verbeterd. Bij de warmtegebruikers in de slaapvertrekken die te weinig warmte krijgen, kan het energiegebruik (en comfort) toenemen als gevolg van waterzijdig inregelen. Voor de warmtegebruikers die te veel warmte krijgen, kan door waterzijdig inregelen een energiebesparing gerealiseerd worden. Het effect op het energiegebruik wordt bepaald door het feit of de bewoner de slaapvertrekken normaal gesproken verwarmt of niet.

#### 26. Nachtverlaging

Doordat de volumestromen bij waterzijdig inregelen anders over de woning verdeeld worden, is het mogelijk dat een aantal vertrekken langzamer aanwarmen. Als het veelgebruikte vertrekken betreft, kan dit, vooral na een nachtverlaging, comfort klachten opleveren van de bewoners. En als de bewoners (of anticiperende thermostaten) hierdoor eerder met het opwarmen van de woning beginnen, dan is een toename in het energiegebruik mogelijk.

Andersom is het ook mogelijk dat veelgebruikte vertrekken juist sneller aanwarmen na waterzijdig inregelen, waardoor later met opwarmen van de woning begonnen kan worden, hetgeen energie bespaart.

#### 27. Ventilatiegedrag

Bij waterzijdig inregelen worden de volumestromen zodanig over de woning verdeeld dat alle vertrekken de ontwerp temperatuur halen. In een recent praktijkonderzoek [5] is er echter geen significant effect op de ruimtetemperatuur gemeten als gevolg van waterzijdig inregelen. Dit wordt mede veroorzaakt door het ventilatiegedrag van bewoners. Dit betreft zowel "het luchten" van de woning als ook het openen van ramen op zonnige dagen in de winter of de tussenseizoenen.

### 28. Gebruik tussendeuren

De berekeningen die worden uitgevoerd voor de capaciteitsbepaling van de warmtegebruikers gaan uit van gesloten tussendeuren. In de praktijk kan dit echter anders zijn, zeker voor appartementen, waardoor het onderscheid tussen de ruimtetemperaturen voor de verschillende vertrekken kleiner is dan volgens de berekening.

### 29. Gebruik radiatorcransen

Het komt voor dat bewoners uit het oogpunt van energiebesparing de radiatorcransen in een aantal vertrekken (die niet of minder gebruikt worden) dichtdraaien. Hierdoor verandert de drukval over het CV-systeem, de totale volumestroom en de volumestroom verdeling over de warmtegebruikers, resulterend in een verstoring van het evenwicht dat wordt ingesteld door waterzijdig inregelen.

In [17] wordt gesteld dat, met name voor niet (goed) ingeregelde CV-systemen, de kwaliteit van de regeling en het energiegebruik bij TRA's nog sterker afhankelijk is van de manier waarop de bewoner omgaat met de radiatorafsluiter dan bij handafsluiters.

In [18] is berekend dat, in het geval de ketelcapaciteit tweemaal groter wordt dan de radiatorcapaciteit doordat een deel van de radiatoren gesloten is, het waterzijdig rendement van een HR-ketel met maximaal 4% afneemt.

### 30. Gebruik ruimtethermostaat

In de praktijk kan het voorkomen dat bewoners de ruimtethermostaat hoger instellen dan gewenst om een aantal "koude" vertrekken beter te verwarmen. Waterzijdig inregelen kan in dit geval resulteren in een lagere instelling van de ruimtethermostaat.

Ook blijkt de ruimtethermostaat soms als aan-uit knop te worden gebruikt door bewoners. Dit beïnvloedt het gedrag van het totale CV-systeem en daarmee ook het effect van waterzijdig inregelen.

## 3.2 Selectie parameters

De verwachting dat op basis van literatuur een gefundeerde uitspraak kan worden gedaan over de invloed van de verschillende parameters op het effect van waterzijdig inregelen is niet juist gebleken. De gevonden literatuur biedt onvoldoende aanknopingspunten voor eenduidige uitspraken. Hierbij is gekeken naar literatuur over zowel waterzijdig inregelen als over CV-systemen in het algemeen. Praktijkonderzoek naar waterzijdig inregelen bevat teveel onzekerheden om verbanden tussen parameters en energiebesparing te leggen. Studies naar CV-systemen betreffen veelal laboratorium onderzoeken of simulaties met numerieke modellen, waarbij onder ideale omstandigheden het effect van een enkele variabele wordt bestudeerd. De invloed van een waterzijdige onbalans wordt hierbij niet meegenomen en kan veelal ook niet eenduidig afgeleid worden. Hetzelfde geldt voor het effect van een combinatie van variabelen, hetgeen mogelijkwjs een rol speelt bij waterzijdig inregelen.

Het gevolg is dat de gekozen aanpak niet de kwalitatieve analyse oplevert die noodzakelijk is voor rangschikking van de geïnventariseerde parameters op relevantie bij CV-optimalisatie. De beoogde selectie van meest relevante parameters en analyse van praktische haalbaarheid is dan ook niet mogelijk op dit moment. Verder onderzoek is nodig om deze kwalitatieve analyse mogelijk te maken.

### 3.2.1 Vervolgonderzoek

Voor verder onderzoek is een eerste selectie nodig van parameters die op basis van beschikbare kennis van belang zijn. Voor deze selectie zijn de volgende criteria opgesteld:

- a) Vervolgonderzoek moet resulteren in een objectieve bepaling van het effect van waterzijdig inregelen, zowel op energiegebruik voor ruimteverwarming als op comfort. Beïnvloeding door bewoners moet dus in eerste instantie niet in het onderzoek opgenomen worden.

- b) Vervolgonderzoek moet zich richten op parameters die naar verwachting het meest relevant zijn en waarvan de exacte relatie met waterzijdig inregelen niet of niet voldoende bekend is.
- c) In eerste instantie moet vervolgonderzoek zich richten op parameters die in een goed ontworpen en goed geïnstalleerd CV-systeem een rol kunnen spelen.
- d) De parameters moeten installatiecomponenten betreffen die relatief vaak voorkomen in de woningvoorraad.

Op basis van bovenstaande criteria zijn de volgende parameters geselecteerd voor vervolgonderzoek:

- 5. Type en instellingen thermostaat
- 7. Ketelinstellingen
- 8. Pomp instelling
- 9. Aanwezigheid TRA's
- 13. Waterinhoud van CV-systeem
- 15. Type ketel (rendement, combi en modulatie)
- 17. Afstemming CV-systeem op energieverliezen

Onderzoek naar deze parameters moet inzicht geven in het effect van waterzijdig inregelen in het ideale geval: een goed ontworpen en geïnstalleerd CV-systeem dat correct gebruikt wordt. Omdat echter de praktijk anders is, zal aansluitend verder onderzoek nodig zijn waarin in eerste instantie het effect van de volgende parameters nader onderzocht wordt:

- 3. Nauwkeurigheid inregelvoorzieningen
- 4. Afstemming inregelvoorzieningen op pomp
- 25. Wel of niet verwarmen slaapvertrekken
- 27. Ventilatiegedrag
- 29. Gebruik radiatorkranen
- 30. Gebruik ruimtethermostaat

Belangrijk bij vervolgonderzoek is dat ook gekeken wordt naar het effect van combinaties van maatregelen. Een voorbeeld hiervan is de combinatie van waterzijdig inregelen en het aanpassen van de (instellingen van) regeling van het CV-systeem. Het effect van waterzijdig inregelen kan hierdoor versterkt worden. Een voorbeeld hiervan (uit de utiliteitsbouw) is een school waar in het laatste lokaal comfort klachten zijn als gevolg van traag aanwarmen. Het tijdstip dat begonnen wordt met aanwarmen wordt bepaald door de "traagste" ruimte. Door waterzijdig inregelen zal deze ruimte sneller aanwarmen. Om het effect van waterzijdig inregelen in dit geval ten volle te benutten, moet het tijdstip waarop aanwarmen begint, aangepast worden in de regeling.

### 3.2.2 Te wijzigen parameters

In paragraaf 3.1 zijn een aantal parameters gemerkt als "te wijzigen indien relevant en rendabel voor CV-optimalisatie":

- 1. Aanwezigheid inregelvoorzieningen
- 2. Bereikbaarheid inregelvoorzieningen
- 3. Nauwkeurigheid inregelvoorzieningen
- 4. Afstemming inregelvoorzieningen op pomp
- 5. Type en instellingen thermostaat
- 6. Positie thermostaat
- 7. Ketelinstellingen
- 8. Pomp instelling
- 9. Aanwezigheid TRA's

De beschikbare financiële ruimte voor CV-optimalisatie, is bepaald op ca. €350,- per woning (zie paragraaf 3.1). Dit bedrag is beschikbaar voor het vaststellen van de inregelstanden en het daadwerkelijk instellen van de inregelvoorzieningen eventueel in combinatie met aanpassingen



betreffende bovengenoemde parameters. Voor een nauwkeurige bepaling van de inregelstanden zijn een transmissieverlies- en leidingnetberekening en de karakteristieken van de inregelvoorzieningen nodig. De beschikbaarheid van deze gegevens bepaalt mede de benodigde tijd voor waterzijdig inregelen.

Voor een woning waarvan bovenstaande gegevens niet direct beschikbaar zijn, zal naar verwachting de bepaling van de inregelstanden en het instellen van de inregelvoorzieningen grotendeels tot volledig beslag leggen op het beschikbare bedrag. Ten aanzien van bovenstaande parameters betekent dit dat er hooguit ruimte overblijft voor aanpassingen aan instellingen van bijvoorbeeld de ketel, thermostaat en/of pomp. Indien het waterzijdig inregelen meerdere identieke woningen betreft, neemt de benodigde inspanning voor het bepalen van de inregelstanden per woning af. Hoe groter het aantal woningen, hoe meer ruimte er overblijft voor aanpassingen betreffende bovenstaande parameters.

Voor een woning waarvan de benodigde gegevens beschikbaar zijn, zal naar verwachting de bepaling van de inregelstanden en het instellen van de inregelvoorzieningen beslag leggen op circa de helft van het beschikbare bedrag. De andere helft kan besteed worden aan aanpassingen betreffende bovenstaande parameters, waarbij opgemerkt moet worden dat installatie werkzaamheden aan *alle* warmtegebruikers (betreffende inregelvoorzieningen of TRA's) niet haalbaar zullen zijn. Ook hier geldt dat bij een toenemend aantal identieke woningen er meer ruimte is per woning voor aanpassingen.

In het geval dat er in een woning geen inregelvoorzieningen aanwezig zijn, kunnen de parameters 1, 2, 3, 4 en 9 in één aanpassing samengenomen worden.



## 4. UITVOERING CV-OPTIMALISATIE

### 4.1 Uitvoering CV-optimalisatie

Bij de inventarisatie van parameters is gebleken dat er op dit moment onvoldoende kennis beschikbaar is om vast te stellen welke parameters van belang zijn voor waterzijdig inregelen. Een vertaling van deze parameters naar uitvoering in de praktijk kan dus nog niet gemaakt worden. Wel is het mogelijk van de geïnventariseerde parameters te analyseren hoe eenvoudig het is om ermee te werken in de praktijk.

Ten aanzien van de uitvoering van CV-optimalisatie kan een onderscheid gemaakt worden tussen het beoordelen of waterzijdig inregelen in een bepaalde woning inderdaad leidt tot energiebesparing en het daadwerkelijk uitvoeren van het waterzijdig inregelen zelf.

Voor het beoordelen van het mogelijke effect van waterzijdig inregelen is de mate waarin parameters in de woning relatief eenvoudig en snel kunnen worden geïdentificeerd van belang. De parameters kunnen in twee groepen worden ingedeeld: de "eenvoudig en snel te bepalen" parameters en de parameters waarvoor "meer tijd en kennis van zaken nodig is".

Eenvoudig en snel te bepalen (door inspectie of navraag):

1. Aanwezigheid inregelvoorzieningen
2. Bereikbaarheid inregelvoorzieningen
6. Positie thermostaat
9. Aanwezigheid TRA's
11. Type installatie (individueel of collectief)
12. Eenpijp- of tweepijp-systeem
16. Plaats van de ketel
20. Type radiatoren
21. Type woning (eengezins of meergezins)
23. Ventilatiesysteem
25. Wel of niet verwarmen slaapvertrekken
26. Nachtverlaging
27. Ventilatiegedrag
28. Gebruik tussendeuren
29. Gebruik radiatorkranen
30. Gebruik ruimtethermostaat

Meer tijd en kennis van zaken is nodig voor:

3. Nauwkeurigheid inregelvoorzieningen
4. Afstemming inregelvoorzieningen op pomp
5. Type en instellingen thermostaat
7. Ketelinstellingen
8. Pomp instelling
10. Beschikbaarheid doorstroombigrammen van hulpstukken
13. Waterinhoud van CV-systeem
14. Capaciteit van CV-systeem
15. Type ketel (rendement, combi en modulatie)
17. Afstemming CV-systeem op energieverliezen
18. Type pomp (wel of niet toerengeregeld)
19. Type besturing
22. Mate van isolatie
24. Specifiek werkzame massa

Bovenstaande lijsten bevatten alle parameters genoemd in hoofdstuk 3. Door vervolgonderzoek naar de relevantie van elk van deze parameters kunnen deze lijsten worden ingekort tot de essentiële parameters. Dan zal ook beter beoordeeld kunnen worden welke specifieke kennis noodzakelijk is voor de beoordeling van het mogelijke effect van waterzijdig inregelen.

De lijst met parameters waarvoor "meer tijd en kennis van zaken" nodig is, bevat een groot aantal parameters die volgens huidige verwachtingen een aanzienlijke invloed kunnen hebben op het effect van waterzijdig inregelen.

Het beoordelen van het eventuele effect van waterzijdig inregelen in een woning lijkt bij voorkeur een zaak voor iemand die:

- met een zekere mate van detail het CV-systeem in kaart kan brengen,
- enkele bouwkundige aspecten van de woning kan beoordelen,
- regelmatig woningen bezoekt (bijvoorbeeld woningen waar comfort klachten voorkomen).

Een EPA adviseur lijkt aan deze voorwaarden te (kunnen) voldoen. Veel van de genoemde parameters (zie vorig hoofdstuk) zijn reeds onderdeel van een EPA-opname van een woning: het type ketel, rendement van de ketel, pompschakeling, leidinglengtes, aanvoertemperatuur CV-systeem en aanwezigheid van thermostatische radiatorafsluiters, isolatie van de gebouwschil, het ventilatiesysteem, type warmtegebruikers, type installatie etc.

Een aantal parameters bijvoorbeeld betreffende de thermostaat en de inregelvoorzieningen zijn momenteel geen onderdeel van de EPA-opname. Indien relevant echter zouden deze parameters ook in EPA opgenomen kunnen worden.

Het daadwerkelijk uitvoeren van waterzijdig inregelen is een zaak voor mensen met een goede installatietechnische opleiding. In [13] wordt gesteld dat waterzijdig inregelen geen zaak mag zijn van een beperkte groep specialisten. Zowel grote als kleine installatiebedrijven zouden waterzijdig inregelen moeten kunnen uitvoeren. Voor deze uitvoering is ISSO 56 [7] beschikbaar als richtlijn. Deze publicatie beschrijft tot in detail twee methoden voor waterzijdig inregelen, met daarbij een schema om de juiste methode te kiezen.

## 5. CONCLUSIES & AANBEVELINGEN

Uit de diverse publicaties blijkt dat CV-systemen in woningen vaak niet of onvoldoende waterzijdig worden ingeregeld. Hierdoor functioneert het CV-systeem niet optimaal met als mogelijke gevolgen een hoger energiegebruik dan noodzakelijk en oncomfortabele ruimten. Circulatiepompen blijken veelal op de hoogste stand te staan, terwijl bij nadere beschouwing ook de laagste stand voldoende zou zijn.

Praktijkonderzoek naar waterzijdig inregelen in de woningbouw heeft tot nu toe nog niet het gewenste inzicht opgeleverd. Uit dit praktijkonderzoek is onvoldoende duidelijk geworden welke woningkenmerken het uiteindelijke besparingseffect van waterzijdig inregelen bepalen. Het blijkt dat de verwachte energiebesparing niet altijd wordt gehaald, dat de besparing voor schijnbaar identieke woningen verschillend is of dat het energiegebruik voor ruimteverwarming juist toeneemt na waterzijdig inregelen. Ook ten aanzien van het comfort zijn de ervaringen in de praktijk wisselend. Wel zijn er waardevolle praktijkervaringen opgedaan ten aanzien van waterzijdig inregelen. Tot nu toe betrof het praktijkonderzoek alleen individuele systemen.

Hoe waterzijdig inregelen in theorie kan leiden tot energiebesparing en comfortverhoging is bekend. Het effect van waterzijdig inregelen blijkt in de praktijk echter door meer parameters te worden bepaald dan er bij het waterzijdig inregelen op zich aan bod komen. Er is een inventarisatie gemaakt van de parameters die mogelijk een rol spelen, waarna op kwalitatieve wijze de relevantie van deze parameters is geanalyseerd.

De verwachting dat op basis van literatuur een gefundeerde uitspraak kan worden gedaan over de invloed van de verschillende parameters op het effect van waterzijdig inregelen is niet juist gebleken. De gevonden literatuur biedt onvoldoende aanknopingspunten voor eenduidige uitspraken. Hierbij is gekeken naar literatuur over zowel waterzijdig inregelen als over CV-systemen in het algemeen. Praktijkonderzoek naar waterzijdig inregelen bevat teveel onzekerheden om verbanden tussen parameters en energiebesparing te leggen. Studies naar CV-systemen betreffen veelal laboratorium onderzoeken of simulaties met numerieke modellen, waarbij onder ideale omstandigheden het effect van een enkele variabele wordt bestudeerd. De invloed van een waterzijdige onbalans wordt hierbij niet meegenomen en kan veelal ook niet eenduidig afgeleid worden. Hetzelfde geldt voor het effect van een combinatie van variabelen, hetgeen mogelijkwijs een rol speelt bij waterzijdig inregelen.

Het gevolg is dat de gekozen aanpak niet de kwalitatieve analyse oplevert die noodzakelijk is voor rangschikking van de geïnventariseerde parameters op relevantie bij CV-optimalisatie. De beoogde selectie van meest relevante parameters en analyse van praktische haalbaarheid is dan ook niet mogelijk op dit moment. Verder onderzoek is nodig om deze kwalitatieve analyse mogelijk te maken. Voor vervolgonderzoek zijn in eerste instantie de volgende parameters geselecteerd (nummering volgens de opsomming in hoofdstuk 3):

5. Type en instellingen thermostaat
7. Ketelinstellingen
8. Pomp instelling
9. Aanwezigheid TRA's
13. Waterinhoud van CV-systeem
15. Type ketel (rendement, combi en modulatie)
17. Afstemming CV-systeem op energieverliezen

De geïnventariseerde parameters zijn verdeeld in "te wijzigen" en "niet te wijzigen" parameters. In hoeverre, op basis van de bepaalde financiële ruimte, "te wijzigen" parameters kunnen worden aangepast, hangt af van het aantal (identieke) woningen en de beschikbaarheid van de benodigde ontwerpgegevens. Voor een enkele woning waarvan de ontwerpgegevens niet direct

beschikbaar zijn, kunnen hooguit instellingen van bijvoorbeeld de ketel, thermostaat en/of pomp aangepast worden. Naarmate het aantal woningen toeneemt en er meer gegevens beschikbaar zijn, neemt de ruimte voor aanpassingen in de woning toe.

Vanwege het ontbreken van het gewenste inzicht lijkt het nog te vroeg om al verder in te gaan op “het in de praktijk brengen” van waterzijdig inregelen in woningen. Wel is het mogelijk van de geïnventariseerde parameters te analyseren hoe eenvoudig het is om ermee te werken in de praktijk. De parameters kunnen in twee groepen worden ingedeeld: de "eenvoudig en snel te bepalen" parameters en de parameters waarvoor "meer tijd en kennis van zaken nodig is". De lijst met parameters waarvoor "meer tijd en kennis van zaken" nodig is, bevat een groot aantal parameters die naar verwachting een aanzienlijke invloed kunnen hebben op het effect van waterzijdig inregelen.

In het praktijkonderzoek beschreven in [5] wordt een duidelijke invloed van bewonersgedrag (vooral ventilatiegedrag en warm tapwatergebruik) geconstateerd op het energiegebruik en binnentemperaturen. Er zijn twee opties om te voorkomen dat door bewonersgedrag grote onzekerheden worden geïntroduceerd bij metingen in een woning:

1. een onderzoek in een bewoonde woning, waarbij elk mogelijk relevant aspect van het bewonersgedrag wordt geregistreerd, waarna de meetresultaten gecorrigeerd moeten worden voor dit gedrag,
2. een onderzoek in een onbewoonde testwoning, met de mogelijkheid bewoners op een gecontroleerde manier te simuleren.

Deze laatste optie lijkt de meest praktische om het effect van waterzijdig inregelen te bepalen en om te bepalen welke woningkenmerken de besparing bepalen. Het gebruik maken van een testwoning biedt tevens de mogelijkheid aanpassingen te doen in deze woningkenmerken, zonder dat overlast veroorzaakt wordt.

ECN beschikt over een aantal testwoningen op het terrein in Petten. Deze woningen zijn voorzien van een uitgebreid meetsysteem, inclusief aansturing voor bewonerssimulatie. Het meetsysteem registreert o.a. alle ruimtetemperaturen en de energiestromen en temperaturen in het systeem voor ruimteverwarming. Ook de relevante klimaatgegevens worden gemeten. Het is tevens mogelijk in één woning waterzijdig inregelen bij verschillende afgiftesystemen te onderzoeken.

Een testwoning leent zich ook voor demonstratie van waterzijdig inregelen aan geïnteresseerden, zoals installatiebedrijven. Dit sluit aan bij de aanbeveling in [13] dat het nodig is objectief aan te tonen dat waterzijdig inregelen (blijvend) een positief effect heeft op energiegebruik en comfort, dit om “adoptie van innovaties in de bouw te bevorderen”.

Onderzoek in een testwoning kan belangrijke informatie opleveren over het mechanisme van energiebesparing door waterzijdig inregelen voor verschillende situaties en welke woningkenmerken daarbij vooral van belang zijn. Een dergelijk onderzoek kan echter nog meer opleveren door het te combineren met het opzetten en valideren van een simulatie model voor waterzijdig inregelen. Door het valideren van een model kan met een bepaalde (bekende) zekerheid het besparingseffect ook voorspeld worden voor situaties die (enigszins) afwijken van wat onderzocht is.

In [17] is bepaald de warmte-afgifteverdeling in niet (goed) ingeregelde CV-systemen nog ongunstiger is dan op grond van stationaire eigenschappen kan worden verwacht. Dit ten gevolge van het dynamisch gedrag van radiatoren. Een simulatie model zal deze dynamiek in voldoende mate moeten beschrijven.

Omdat het effect van waterzijdig inregelen in de praktijk bepaald wordt door een nog onbekend samenspel van factoren is vervolgonderzoek met uitsluitend een simulatie model niet aan te raden. Dit model bevat immers alleen relaties die reeds bekend zijn. Door het gebruik van een model te combineren met praktijk metingen kan het model op volledigheid en nauwkeurigheid getoetst worden en eventueel uitgebreid worden.

## LITERATUUR

- [1] “Energiebesparende maatregelen in de woningvoorraad”, A. Poel en M. Sniijders, rapport kenmerk 020545ap, Bureau EBM, oktober 2002.
- [2] “Kwaliteit voor doelgroepen – KWR 2000 beschrijft woonsituatie rond millennium”, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, september 2002.
- [3] “Basisonderzoek Aardgasverbruik Kleinverbruikers BAK 2000”, EnergieNed, november 2001.
- [4] "Twijfels over waterzijdig inregelen", artikel in Stromen, jaargang 5 nr. 5, maart 2003.
- [5] "Praktijkonderzoek waterzijdig inregelen bestaande woningvoorraad", E. Willems en J. Persoon, Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs b.v. en Bouwhulp Groep, i.o.v. Novem, november 2002.
- [6] "Waterzijdig inregelen als nieuwe groeimarkt", tekst Rob van Mil, artikel in Intech, februari 2003.
- [7] “Inregelen van ontwerpvolume-stromen in individuele verwarmingsinstallaties in woningen”, ISSO publicatie 56, Stichting ISSO, Rotterdam, augustus 2002.
- [8] “Probleemverkenning waterzijdig inregelen van CV-verwarmingssystemen in woningen, G.J. Afink, TNO-MEP, i.o.v. Novem, januari 1999.
- [9] “Inregelen, ook bij individueel gestookte installaties een noodzaak”, Ph.J. Ham, artikel in Verwarming en Ventilatie, nr. 6, juni 1994.
- [10] “Helpt energie wordt verspild”, H. Deinum, artikel in De Ingenieur, nr. 21, december 1997.
- [11] “Waterzijdig inregelen van verwarmingssystemen in woningen: inregelmethoden”, G.J. Afink, TNO-MEP, i.o.v. Novem, augustus 2000.
- [12] “Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 december 2002 on the energy performance of buildings”, L 1/65, Official Journal of the European Communities 4.1.2003, January 2003.  
([http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/2003/l\\_001/l\\_00120030104en00650071.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/2003/l_001/l_00120030104en00650071.pdf), geraadpleegd op 27-03-2003)
- [13] “Waterzijdig inregelen: (h)erkenning van vakmanschap”, G. Hiemstra en C. Schiebaan, Van der Meer & Van Tilburg, i.o.v. Novem, juni 2001.
- [14] “Huis en klimaat Comfortwijzer”, Vereniging Huis en Klimaat, 2002.

- [15] Telefonisch contact met Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs bv., maart 2003.
- [16] "De regeling van CV-installaties, een onderzoek naar de prestaties van regelingen met behulp van simulaties", P.J. Berben en E.J.G. van Bruggen, artikel in GAS, nr. 1, januari 1989.
- [17] "De warmte-afgifteverdeling in radiatornetwerken in relatie tot de waterzijdige inregeling en het regelgedrag van de CV-installatie", J.B. de Wit, artikel in Verwarming en Ventilatie, nr. 6, juni 1986.
- [18] "Invloed ontwerp en gebruik van CV-installatie op ketelrendement", P.Th.J. Overman, artikel in I<sup>2</sup> Werktuigbouwkunde, nr. 6, 1986.

Geraadpleegde websites:

[europa.eu.int](http://europa.eu.int)  
[www.toekomstprijs.nl](http://www.toekomstprijs.nl)  
[www.energie.nl](http://www.energie.nl)  
[www.isso.nl](http://www.isso.nl)  
[www.huisenklimaat.nl](http://www.huisenklimaat.nl)  
[www.novem.nl](http://www.novem.nl)  
[www.cbs.nl](http://www.cbs.nl)  
[www.vrom.nl](http://www.vrom.nl)