

Warm Water Verwarming

Mogelijkheden voor zonnewarmte, houtstook en hydroaccumulatie

Jos Oskam
zondag 24 april 2011
Versie 2

0. Inhoudsopgave

0.	Inhoudsopgave	2
1.	Samenvatting.....	3
2.	Inleiding	4
3.	Basisvoorwaarden en ontwerpcriteria.....	6
4.	Uitgangspunten zonnecollectorsysteem	8
5.	Uitgangspunten houtstookstelsel.....	12
6.	Uitgangspunten combisysteem.....	17
6.1.	Filosofie	17
6.2.	Knelpunten	17
6.3.	Inspiratie.....	18
6.4.	Aanpassingen.....	20
7.	Werking combisysteem.....	22
7.1.	Systeem in rusttoestand	22
7.2.	Zonnecollectoren actief.....	23
7.3.	Houtstook actief.....	24
7.4.	Overladen overschotwarmte.....	25
7.5.	Terugladen overschotwarmte	26
8.	Evaluatie basisvoorwaarden en ontwerpcriteria.....	27
9.	Slotbeschouwingen en “things to do”	29
9.1.	Capaciteitsberekening	29
9.2.	Bijvullen waterniveau	29
9.3.	Ontluchting en overloop.....	29
9.4.	Expansie en druk.....	29
9.5.	Regeleenheden	30
10.	Bronnen en referenties.....	31

1. Samenvatting

Dit document is een bezinksel van ideeën en uitgangspunten om te komen tot een geïntegreerd systeem voor warmwatervoorziening en verwarming, gebaseerd op het gebruik van zonnewarmte en houtstook in combinatie met hydroaccumulatie. Omdat dit een zeer persoonlijke ontdekkingsreis is geworden, is het geschreven in de “ik” vorm. De gedane waarnemingen, geponeerde stellingen en getrokken conclusies zijn dan ook geheel de mijne en pretenderen geenszins de absolute waarheid te zijn. Sterker nog, als één ding mij tijdens deze studie is duidelijk geworden, dan is dat wel het schier ontelbare aantal meningen, oplossingsrichtingen en systemen op dit gebied.

En daar is er nu dus weer één bijgekomen...

2. Inleiding

Toen ik besloot mijn carrière als ICT deskundige aan de wilgen te hangen om in plaats daarvan een bouwval in Frankrijk te gaan restaureren, heb ik mij heel veel dingen niet gerealiseerd. Onder andere hoe plezierig het is om in een centraal verwarmd huis te wonen dat met een draai aan de thermostaat op de gewenste temperatuur wordt gebracht. En om op elk gewenst moment een warm bad of dito douche te kunnen nemen. Dat alles zonder zorgen over nukkige geisers, niet-trekkende kachels, nat hout en lege gasflessen, om maar eens wat te noemen.

Dus op het moment dat het eerste deel van het casco weer op een gebouw begint te lijken, doemen vragen op. Zoals, hoe straks de badkamer van warm water te voorzien. En hoe het hele gebouw te verwarmen. Het beantwoorden van dergelijke vragen kan beter niet worden uitgesteld tot het casco gereed is. Er kunnen dan belangrijke dingen blijken te ontbreken. Zoals bevestigingen en doorvoeren voor zonnecollectoren op het dak, schoorstenen voor verwarmingstoestellen, of zelfs simpelweg de ruimte voor het inrichten van de “chaufferie”.

De vraag welke energie te gebruiken is voor mij persoonlijk gemakkelijk te beantwoorden. Ik ben er van overtuigd dat je er goed aan doet jezelf zo min mogelijk bloot te stellen aan fenomenen die buiten je eigen controle liggen, zoals de prijzen van olie, gas en elektriciteit. Zonder deze energievormen geheel te willen afzweren lijkt het me wenselijk het gebruik ervan tot het uiterste te beperken. Ik houd er niet van om afhankelijk te zijn van de grillen van de markt, dus ook oplossingen als kolen, houtsnippers en pellets bekijk ik met gepaste argwaan.

Wat blijft er dan over? Nu ja, de meer of minder bekende “ecolo” energievormen. Hoewel, voor een getijdencentrale woon ik te ver van de kust. Ik heb geen riviertje op mijn terrein dus een watermolen valt af. Windmolens vind ik foeilelijke en lawaaimakende ondingen. Voor alle vormen van “thermie” heb je een warmtepomp nodig die elektriciteit gebruikt en daar wil ik nu juist zo min mogelijk van afhankelijk zijn.

Dus, dacht ik in mijn onschuld, de oplossing is eenvoudig. De zon schijnt voor iedereen, dus zonnecollectoren voor warm water. Ik heb een groot terrein met veel verwilderd bos, dus hout voor de momenten dat er onvoldoende zon is. Combineer die twee systemen en je bent het hele jaar voorzien. Met zeer incidenteel nog wat elektrische ondersteuning voor als er én geen zon, én geen hout is. Simple comme bonjour.

Yeah, right. Dat heb ik geweten. Een uitgebreide speurtocht naar gecombineerde oplossingen met zonnecollectoren en houtstook heeft mij hard op aarde doen landen. Een leermomentje zoals ik dat vroeger placht te noemen.

Eerstens, in Frankrijk is de markt voor alternatieve energieoplossingen compleet verziekt door inmenging van de overheid. Subsidie, crédit d'impôt, kunstmatige terugkooopprijzen, noem maar op. Allerlei voordelen die je kunt incasseren mits je het werk door een professional laat uitvoeren. En vervolgens krijg je een apprenti over de vloer die gisteren een gebruiksaanwijzing heeft gelezen en vandaag als "specialist" jouw spullen komt installeren. Tegen een astronomisch tarief, waarin jouw voordelen al dubbel en dwars zijn verwerkt.

Tweedens, Franse installateurs zijn zelden creatief, en nog minder innovatief. Ze moeten immers 10 jaar garantie geven op hun werkzaamheden. Dus doen ze uitsluitend kunstjes die ze kennen, en die hun overgrootvader ook al kende. Nieuwerwetsigheden zijn eng, want stel dat er binnen 10 jaar iets mis gaat. Je kunt sneller zelf een opleiding tot chauffagiste volgen dan er één te zoeken die met moderniteiten zoals zonnecollectoren en hydroaccumulatie uit de weg kan – en wil!

Derdens, die prijzen. Hoe is het mogelijk dat ik goedkoper een 250 kg zwaar buffervat of een 500 kg zware houtvergasser 1000 km ver uit het buitenland kan laten komen dan deze bij de buurman in Frankrijk te kopen? Natuurlijk, als je alles laat installeren en enige voordelen kunt incasseren kom je wellicht in Frankrijk op een vergelijkbare eindprijs *voor de materialen* uit. Maar de autoconstructeur kan dus niet anders dan zijn blik over de grens werpen.

Kortom, ik ben tot de conclusie gekomen dat je je installatie kunt uitbesteden en dan betaal je door je neus voor redelijk traditionele oplossingen. Of je gaat zelf aan de gang, maakt je de benodigde kennis eigen, speurt Europawijd naar voordelige inkoopmogelijkheden, en realiseert je eigen systeem.

Dat u nu dit verhaal leest mag duidelijk maken dat ik voor de tweede mogelijkheid heb gekozen.

3. Basisvoorwaarden en ontwerpcriteria

Het is reeds eerder opgemerkt, het aantal meningen, oplossingsrichtingen en systemen in de wereld van de duurzame energie is schier oneindig. Om toch wat houvast te krijgen bij de te maken keuzes, ben ik maar begonnen die dingen die ik belangrijk vind op een rijtje te zetten. Persoonlijke inzichten, vanzelfsprekend. Maar onmisbaar als je op een bepaalde koers wilt varen in plaats van doelloos rond te zwalken. Dus hieronder het lijstje van mijn hoogsteigen basisvoorwaarden en ontwerpcriteria.

- BO1 : Het gehele systeem wordt gerealiseerd conform het “Keep It Simple Stupid” (KISS) principe. Hoe minder componenten, hoe minder er stuk kan gaan. Hoe eenvoudiger de opbouw, hoe gemakkelijker het is om eventuele problemen op het spoor te komen. De alles overheersende filosofie is “minder is meer”. Ik voel er niets voor om een “usine a gaz” te gaan bouwen.
- BO2 : Het systeem moet architectonisch een duidelijk en eenvoudig koppelvlak kennen tussen productiegebied en verbruiksgebied. Bijvoorbeeld, een elektrische vloerverwarming voldoet niet aan deze voorwaarde, omdat zo’n ding uitsluitend op elektriciteit werkt (verbruiksgebied), en dus de beschikbaarheid hiervan vereist (productiegebied). Een vloerverwarming met een buizensysteem voldoet hier wel aan (verbruiksgebied) omdat je de noodzakelijke verwarming van de vloeistof hierin op elke gewenste wijze kunt realiseren (productiegebied).
- BO3 : Het systeem moet redelijkerwijze door een autoconstructeur opgebouwd- en ook onderhouden te kunnen worden. Bijvoorbeeld, er moeten geen elektronische black boxes aan te pas komen die slechts met specifieke geavanceerde diagnoseapparatuur uit te lezen zijn. Zelfs een “plombier du dimanche” zoals ik moet er wijs uit kunnen worden.
- BO4 : De nadruk ligt op zo laag mogelijke- en voorspelbare exploitatiekosten van het uiteindelijke systeem, niet op een minimale initiële investering. Tegenwoordig is “geld op de bank” ook al geen zekerheid meer. Ik geef er de voorkeur aan om nu te investeren in toekomstige minimale exploitatiekosten. Het alternatief is, het kapitaal op de bank te laten staan, het gestaag in waarde te zien dalen, en er dan ook nog periodieke grote happen uit te zien worden genomen voor de dagelijkse kosten.

- BO5 : Het systeem moet voldoende flexibel zijn om te kunnen worden aangepast aan de actuele omstandigheden, dat wil zeggen vraag- en aanbod van energie. Bij restauratie van een oud gebouw is de uiteindelijke energiebehoefte zeer moeilijk accuraat te voorspellen. Er zijn geen ervaringscijfers en de standaard tabellen voor isolatie van vloeren, wanden en dak zijn niet van toepassing. Je dimensioneert het initiële systeem dus op basis van een “educated guess”. Mocht die gok toch niet goed uitpakken, dan moet de dimensionering van het systeem achteraf zo pijnloos mogelijk aangepast kunnen worden.
- BO6 : De afhankelijkheid van leveranciersspecifieke componenten moet koste wat het kost worden vermeden. Elke component en elk deelsysteem moet uit meerdere bronnen betrokken kunnen worden. “Second sourcing” heette dat in mijn ICT verleden. Dus ook al is dat frutseltje van het merk Kosmisch Intergalactisch Fantastisch nóg zo uniek, als er niemand anders is die iets dergelijks levert komt het er bij mij niet in.
- BO7 : Het verwarmingssysteem moet op lage temperatuur functioneren. Hierdoor is een temperatuur van 40 graden in het productiegebied voldoende om in het verbruiksgebied zowel plezierig warmwater als aangename verwarming te kunnen aanbieden. Met een traditioneel radiatorensysteem zou het verbruiksgebied een minimumtemperatuur van 60 graden vereisen. Een dergelijke hoge temperatuur leidt tot hogere thermische verliezen, en beperkt het bruikbare warmtetrject in het productiegebied tot het interval tussen 90 graden en 60 graden, in plaats van 90 graden en 40 graden bij een lage-temperatuur oplossing.

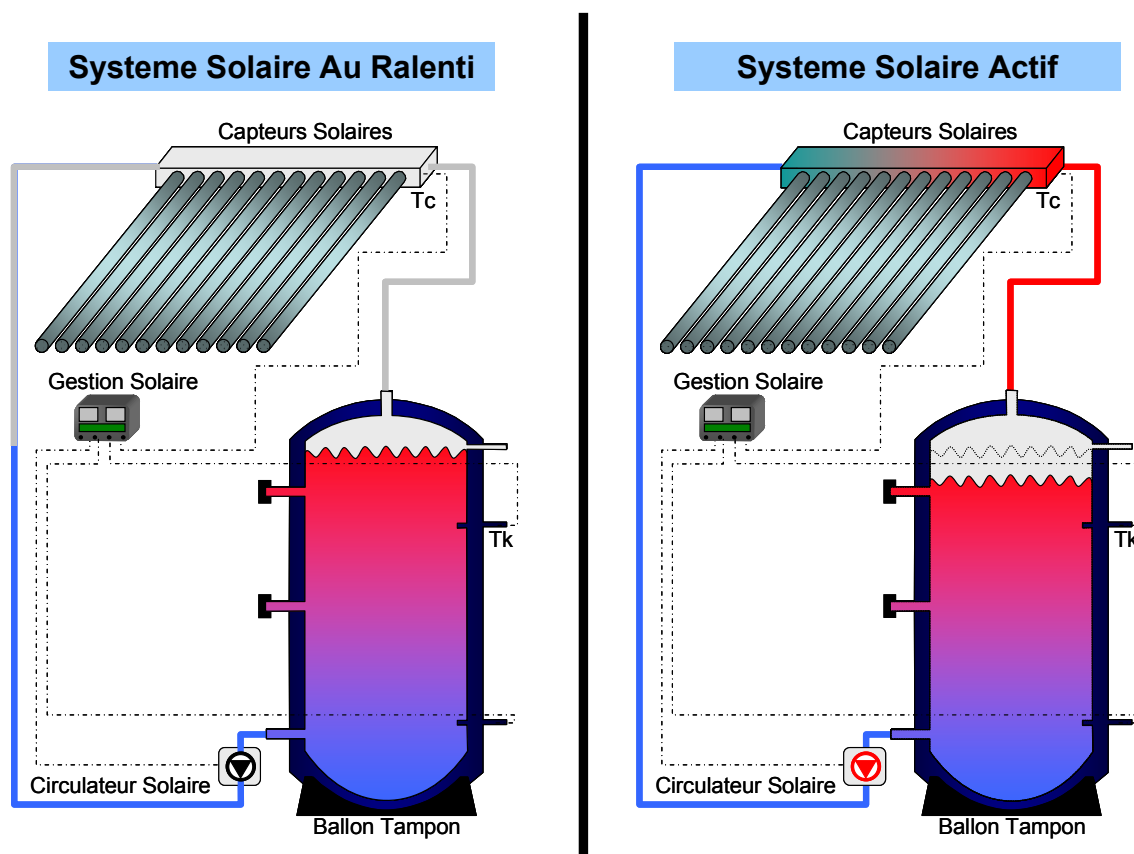
En last but not least, dat toverwoord, “elegantie”. Dat woord heb ik voor het eerst op waarde weten te schatten na het bestuderen van de boeken van Edsger W. Dijkstra. Het is niet voldoende als iets functioneert, er moet een soort schoonheid zitten in de wijze waarop een oplossing zich presenteert. De échte technicus voelt gewoon wanneer dit het geval is. Zo niet, dan is er sprake van een “kludge”, iets wat weliswaar werkt maar de noodzakelijke schoonheid en elegantie ontbeert. En op basis van dat niet hard te maken criterium behoud ik mij niettemin het recht voor om bepaalde oplossingen niet te willen.

4. Uitgangspunten zonnecollectorsysteem

Vanzelfsprekend zijn zonnecollectoren in Frankrijk een bekend verschijnsel. Het land geniet immers voor het overgrote deel een zeer comfortabel aantal uren zonneshijnsel per jaar. Waar zonnecollectoren zelfs in het noorden lonend kunnen zijn, komen ze in het zuiden pas echt goed tot hun recht. En ik woon in het zuiden.

Wat mij dan wel weer verbaast is de Franse voorkeur voor het gesloten systeem onder druk. Met andere woorden, de gehele zonnecollectorkringloop is altijd gevuld met vloeistof. En dat heeft zijn nadelen. Omdat in de winter de boel kan bevriezen moet er antivries in de vloeistof, wat duur is en de warmtecapaciteit vermindert. In de zomer kan de vloeistof in de collectoren oververhit raken, en dat wordt een echt probleem als bijvoorbeeld de elektriciteit uitvalt terwijl je niet thuis bent. Om tenslotte nog maar te zwijgen van alle benodigde appendages zoals expansievat en overdrukbeveiliging. Persoonlijk krijg ik geen warm gevoel (sic!) bij dit systeem, temeer omdat er zo'n elegant alternatief is.

Dat elegante alternatief is het zogenaamde open leegloopsysteem, ook wel bekend als "drain-back" of "autovidangeable", zoals weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 : Overzicht open leegloopsysteem

Het open leegloopsysteem is wel zo ongeveer het simpelste wat je je kunt voorstellen. In de basis bestaat het uit een bak water onder atmosferische druk, een rijtje zonnecollectoren, een pomp en wat huishoudelektronica.

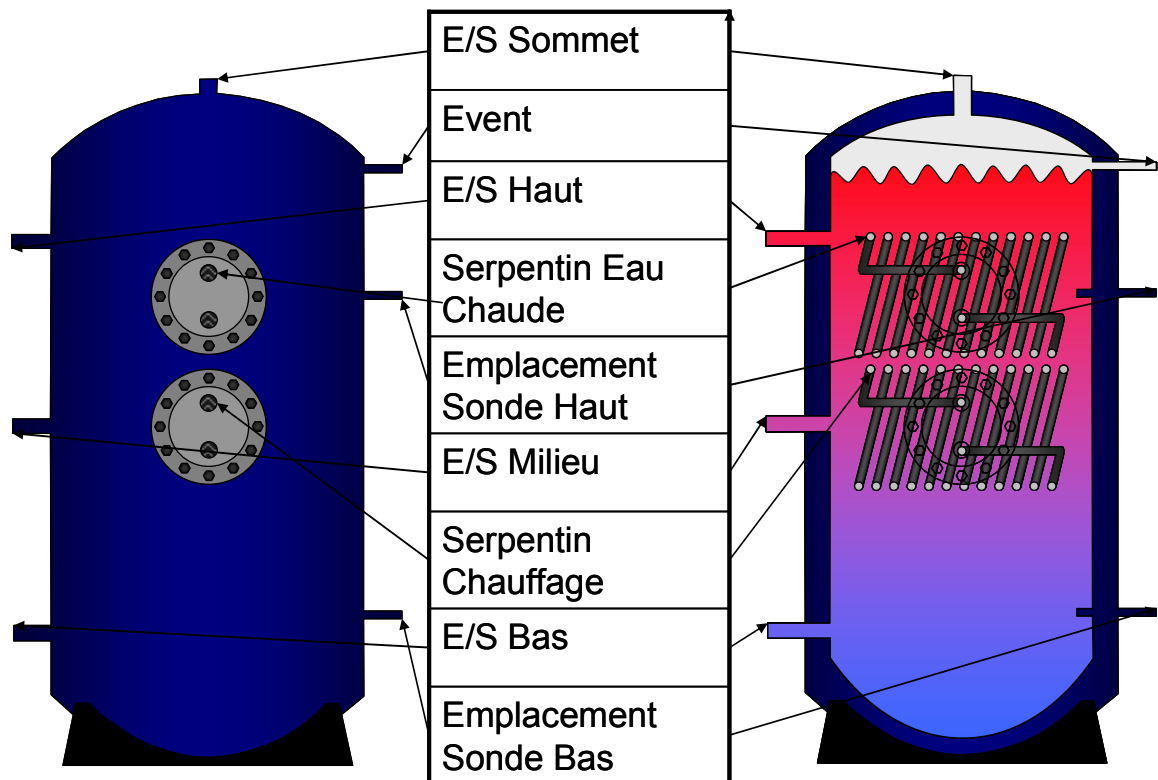
Als de zon schijnt en het wordt warm, gaat de pomp draaien. Water circuleert vanuit de waterbak naar de zonnecollectoren, wordt daar verwarmd, en valt terug in de waterbak. Als de waterbak heet genoeg is stopt de pomp. Het mooie van dit systeem is, dat als de pomp stopt, het water automatisch terugzakt in de waterbak. De zwaartekracht doet het werk. De perfecte fail-safe oplossing.

Als het buiten te koud wordt en er dreigt gevaar voor bevriezing, stopt de pomp. Als het buiten zó heet wordt dat het water aan de kook dreigt te raken, stopt de pomp. Als de elektriciteit uitvalt, stopt de pomp. En als de pomp stuk gaat, stopt-ie ook. En als de pomp stopt, valt de installatie stil, het water valt terug in de waterbak, en alles is stabiel en OK.

Natuurlijk moet het oppervlak aan zonnecollectoren in enige mate zijn afgestemd op de grootte van de waterbak, of omgekeerd. Te weinig collectoren en je blijft na een zonnige dag zitten met een grote bak lauw water waar je niets aan hebt. Te veel collectoren en het systeem zal op zonnige dagen heel vaak voortijdig stoppen met water verwarmen omdat de maximumtemperatuur van de waterbak is bereikt. Geen van beide scenario's is optimaal.

Na het nodige zoekwerk heb ik een Frans bedrijf ontdekt [Bysun] dat een bouw pakket voor een open leegloopsysteem levert, speciaal afgestemd op de autoconstructeur. Dit pakket omvat ongeveer 15 m² vacuümbuis zonnecollectoren in combinatie met een 1000 liter multifunctioneel buffervat en alle nodige appendages. Ik heb dit bedrijf bezocht en ben overtuigd geraakt van hun aanpak.

Het multifunctionele buffervat bevat de watervoorraad die direct door de zonnecollectoren wordt verwarmd en vormt het hart van de installatie. Een schematisch overzicht van het buffervat is weergegeven in Figuur 2.



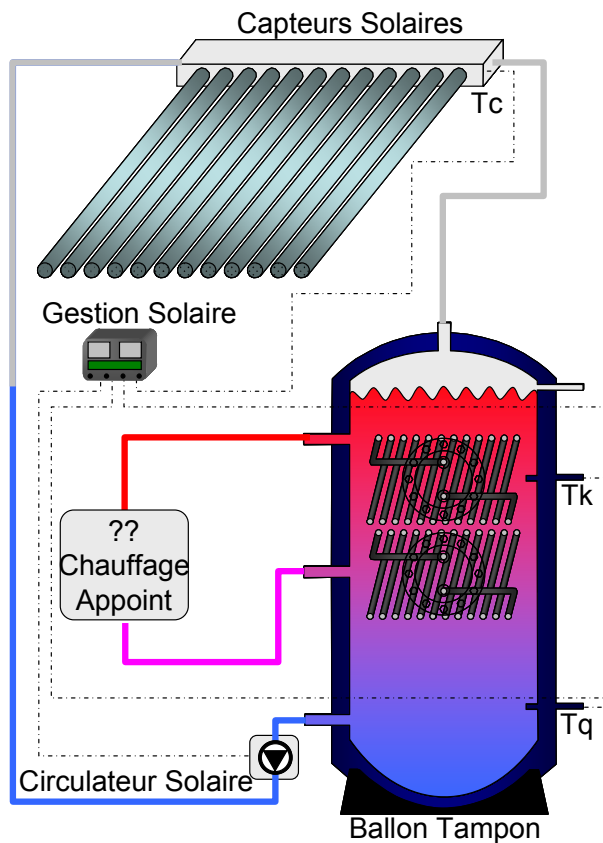
Figuur 2 : Overzicht multifunctioneel buffervat

De in de watervoorraad opgeslagen warmte is in eerste instantie bedoeld voor de warmwatervoorziening. In tweede instantie kan ook de verwarmingsinstallatie ondersteund worden. De koppeling met deze systemen geschiedt door middel van warmtewisselaars. Omdat de temperatuur bovenin het vat het hoogst is, bevindt zich daar de warmtewisselaar voor de warmwatervoorziening.

Door de warmtewisselaars zijn zowel warmwatercircuit als verwarmingscircuit 100% gescheiden van de inhoud van het buffervat. Hierdoor zijn geen speciale voorzorgsmaatregelen tegen Legionella nodig. Ook het feit dat het buffervat zelf slechts op atmosferische druk werkt levert hierdoor geen problemen op. Last but not least ontstaat hierdoor het gewenste zuivere koppelvlak tussen productiegebied en verbruiksgebied.

Omdat de zon ook wel eens langere tijd afwezig is, biedt het buffervat aansluitmogelijkheden voor een chauffage d'appoint oftewel bijverwarming. Hierdoor is het mogelijk met een willekeurige andere energiebron het water bovenin het buffervat te verwarmen zodat in elk geval de warmwatervoorziening op een comfortabel niveau gehandhaafd blijft.

De combinatie van het multifunctionele buffervat met de nodige vacuümbuis zonnecollectoren, een circulatiepomp en een regelsysteem levert een complete installatie voor solaire warmwatervoorziening zoals weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3 : Overzicht zonnecollectorsysteem

Système Solaire

Drainback / Autovidangeable
 Sans pression
 Boucle ouverte

Ballon Tampon Solaire

Volume en fonction de surface des capteurs

Surface capteurs:

-Brute: 14,4 m²

-Nette: environ 80%

Soit 11,5 m²

Volume ballon:

- 80 l stock par m² capteur

Soit 920 litres minimum

Estimation Initiale:

Stock Solaire 1000 litres

De vacuümbuis collectoren hebben als voordeel dat ze een wat beter rendement bieden dan vlakke plaat collectoren in suboptimale omstandigheden, zoals niet zuiver zuidelijke oriëntatie of niet-optimale dakhelling. Tegenwoordig zijn vacuümbuizen een massaproduct dat door China in scheepsladingen tegelijk wordt geëxporteerd. Dus “second sourcing” is geen probleem. Deze collectoren zijn geschikt voor leegloopsysteem toepassingen en dat is géén vanzelfsprekendheid!

De regeleenheid vergelijkt de temperatuur van de collectoruitgang met die onderin het buffervat. Als het verschil voldoende groot is gaat de pomp draaien en komt de zonnecollectorkringloop op gang. Als het verschil te klein wordt of de temperatuur bovenin het buffervat wordt te hoog stopt de pomp en het water uit de zonnecollectorkringloop valt terug in het buffervat. De regeleenheid bevat een speciale programmering om de pomp getrapt op te starten ter voorkoming van cavitatie.

5. Uitgangspunten houtstookstelsel

Hout is een prachtige brandstof. Overal te krijgen, en “en campagne” vind je niet zelden een behoorlijke productie op je eigen terrein. Zelfs als dat niet het geval is, als je bereid bent de handen uit de mouwen te steken kun je de stammen in het groot inkopen en zelf verzagen en kloven. Uiteindelijk zijn de kosten per eenheid huisverwarming belachelijk veel lager dan die voor olie, gas of elektriciteit. En hout verwarmt je meerdere keren: bij het zagen, bij het kloven, bij het versjouden, en uiteindelijk bij het stoken.

Natuurlijk kent hout ook zijn nadelen. En dat zijn niet de inverses van de bovengenoemde zaken, zoals een hekel aan lichamelijke inspanning. Het gaat hier om het gedrag van hout als brandstof. En dat gedrag kenmerkt zich door een soort “alles of niets” aspect. Als je een stapel hout opstookt, krijg je in korte tijd een enorme hoeveelheid energie tot je beschikking. Maar als het hout is opgebrand, krijg je helemaal geen energie meer. Dat is dus iets heel anders dan een traploos regelbare olie- of gasbrander. Vertaald naar de verwarming van je huis betekent stoken op hout een afwisseling tussen smelten van de hitte of verkommeren van de kou.

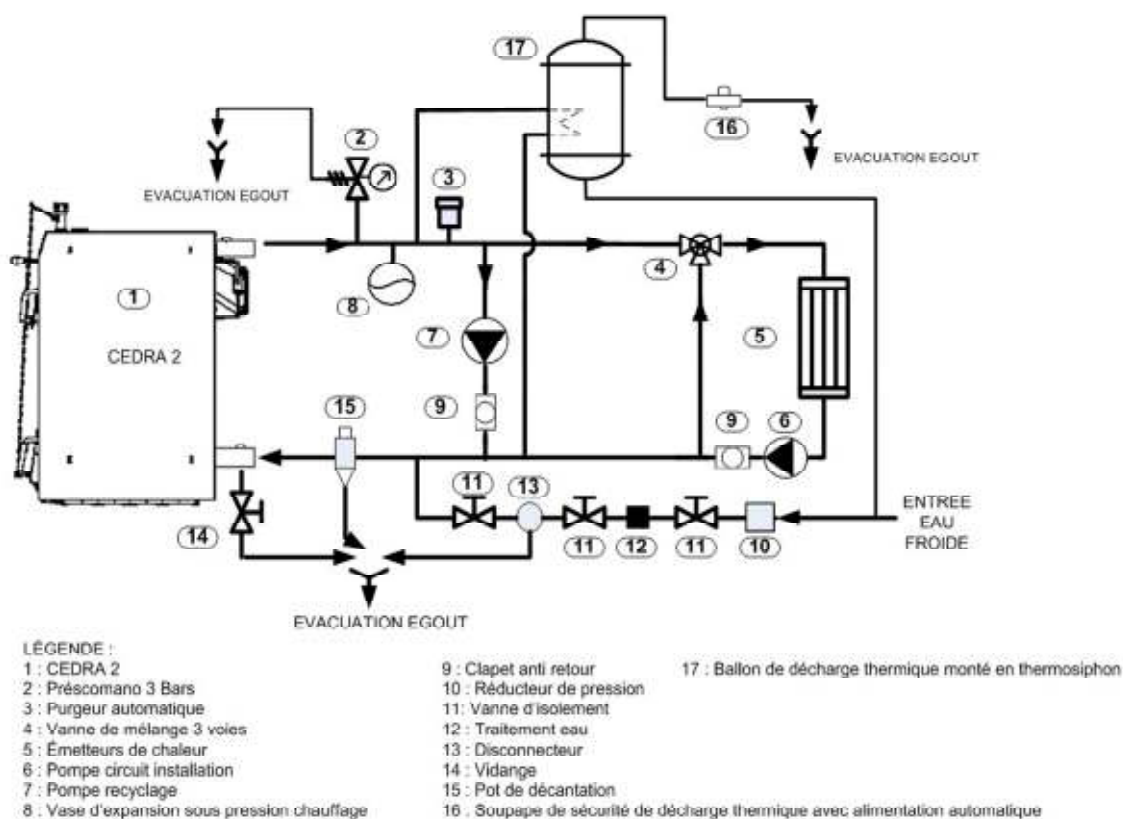
Natuurlijk kun je proberen daar iets aan te verbeteren. Daarom hebben de gebruikelijke houtkachels voor in de woonkamer ook een meer of minder geavanceerd regelsysteem. Helaas werken die regelsystemen op de toevoer van verse lucht aan het verbrandingsproces. Daarmee beperk je weliswaar de intensiteit van het vuur, maar tegelijkertijd veroorzaak je een suboptimale verbranding. Roet, fijnstof, vervuiling, narigheid. Dat is duidelijk niet de aangewezen manier. Je kunt hout het beste zo intensief mogelijk verbranden, in een optimaal proces met voldoende luchttoevoer. In een houtstookketel die daar speciaal voor bedoeld is.

Het gebruik van een houtstookketel in een verwarmingsinstallatie behelst méér dan deze simpelweg in de plaats van een gas- of oliestookketel zetten. Verwarmingsinstallaties bestaan al sinds jaar en dag in twee hoofdvormen, namelijk met open expansievat of met gesloten expansievat. Een open expansievat staat in directe verbinding met de buitenlucht. Het bevindt zich noodzakelijkerwijze boven het hoogste punt van de installatie, bijvoorbeeld op zolder. Een gesloten expansievat bevat inwendig een membraan en is op een zekere druk ingeregeld. Dit vat kan zich op elke gewenste hoogte bevinden.

In de standaard moderne verwarmingsinstallaties op olie of gas is het open expansievat niet meer populair. Er kleven nadelen aan, zoals verdamping van het warme water dat noodzaakt tot periodiek bijvullen. Omdat het water continu in contact staat met de buitenlucht is corrosie een potentieel probleem. En het open expansievat moet zich op het hoogste punt van de installatie bevinden, wat niet altijd gemakkelijk mogelijk is. Echter, met de toenemende populariteit van de houtstookketels maken systemen met open expansievat een zekere comeback.

Omdat houtstookketels in korte tijd een enorme hoeveelheid warmte produceren, moet aandacht worden besteed aan de veiligheid van het proces. Er is namelijk altijd een risico van oververhitting. Dit kan ontstaan omdat teveel hout wordt geladen, maar ook als gevolg van problemen met de watercirculatie in de ketel. Zo ontstaan bijvoorbeeld problemen als de elektriciteit uitvalt waardoor de circulatiepomp niet langer werkt. Je kunt het verbrandingsproces in een houtstookketel niet even snel stopzetten, in plaats van heet water wordt stoom geproduceerd, en de druk in een systeem met gesloten expansievat loopt buiten alle proporties op. Boem! Om deze reden zijn bij systemen met houtstookketels en gesloten expansievat wettelijk de nodige voorzorgsmaatregelen verplicht, zoals een noodkoelingspiraal en een overdrukbeveiliging. Een indruk van hoe zo'n systeem er uit komt te zien is weergegeven in Figuur 4.

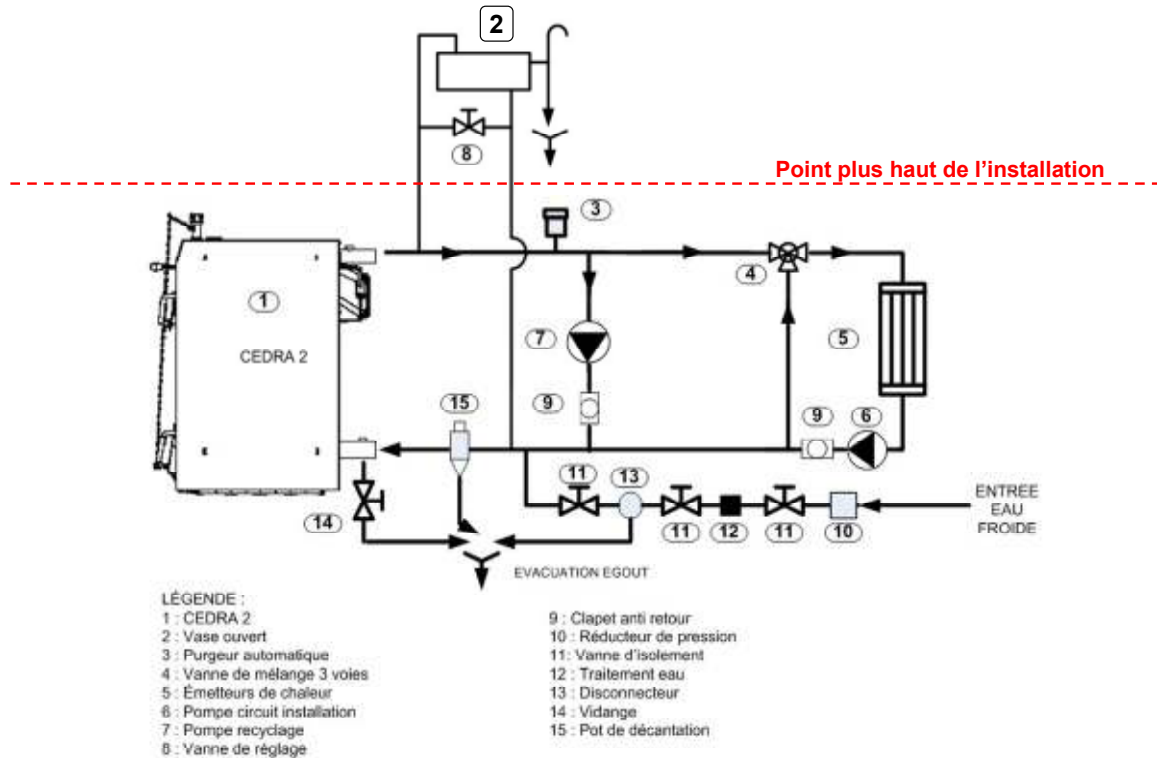
Principe Systeme "Vase Fermé"



Figuur 4 : Houtstookketel in verwarmingssysteem met gesloten expansievat

In een systeem met open expansievat hoeven in combinatie met een houtstookketel veel minder voorzorgen te worden genomen. Immers, wat er ook gebeurt, er gaat niets ontploffen. Er is geen wettelijk verplichte overdrukbeveiliging. Het beschermen van de ketel tegen beschadiging door te hoge temperaturen is facultatief. Het resulterende systeem is veel eenvoudiger, zoals te zien in Figuur 6.

Principe Systeme "Vase Ouvert"



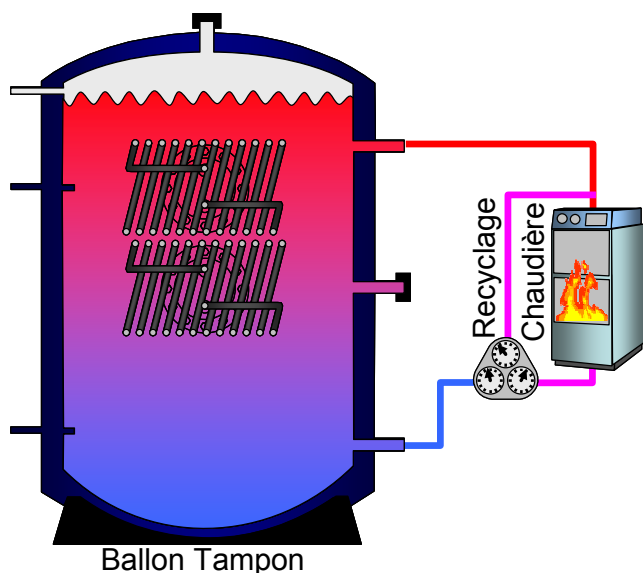
Figuur 5 : Houtstookketel in verwarmingssysteem met open expansievat

Wanneer je streeft naar een zo eenvoudig mogelijk systeem, kom je eigenlijk niet om het systeem met open expansievat heen.

Welk systeem ook wordt gekozen, het "alles of niets" fenomeen van de houtstookketel blijft gehandhaafd. De vraag is dus, hoe je de resulterende energiepieken over de tijd moet gladstrijken. Het antwoord daarop is het systeem van hydroaccumulatie.

In een houtverbrandingssysteem met hydroaccumulatie wordt een houtstookketel gecombineerd met een zeer grote waterbak. Periodiek wordt in deze houtstookketel een flinke stapel hout verbrand. De daarbij vrijkomende energie wordt gebruikt om het water in de waterbak te verwarmen. Er moet dus niet te weinig water zijn, want dan raakt het aan de kook. En ook niet te veel, want dan blijft het onbruikbaar lauw. Het is dus zaak om het volume van de waterbak af te stemmen op de maximale hoeveelheid hout die in één keer verbrand kan worden. Daartoe hanteert men een vuistregelverhouding tussen de inhoud van de verbrandingskamer van de houtstookketel en de inhoud van de waterbak.

Uiteindelijk leidt dit tot een systeem waarin een houtstookketel wordt gebruikt om "even snel" een bak water te verwarmen, die op zijn beurt weer langdurig de energie levert die nodig is voor warmwatervoorziening en verwarming zoals weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6 : Overzicht houtstookstelsel

Het in Figuur 6 getoonde systeem met houtstookketel is tot zijn eenvoudigste vorm teruggebracht. De houtstookketel verwarmt het water in een buffervat. De grootte van het buffervat is afgestemd op de inhoud van de verbrandingsruimte van de houtstookketel, en wel zodanig dat het verstoken van de maximale hoeveelheid "ideaal hout" de watervoorraad in het buffervat maximaal zo'n 50 graden in temperatuur zal doen stijgen. Dus als we de houtstookketel pas opstoken als het water in het buffervat onder de 40 graden is gedaald lopen we geen risico op oververhitting.

Het hele systeem werkt op atmosferische druk, dus er is geen overdrukbeveiliging nodig. Bovendien, omdat het buffervat niet helemaal gevuld is, is er ook geen apart expansievat nodig. De vrije ruimte in het buffervat kan voldoende groot gedimensioneerd worden om de expansie van het water op te vangen.

De houtstookketel moet wel zijn voorzien van een recirculatie-eenheid om ervoor te zorgen dat deze zo snel mogelijk op temperatuur komt. De recirculatie-eenheid zorgt ervoor dat in de opstartfase het lauwe water dat uit de ketel komt, weer naar de ketel wordt teruggevoerd. Als het water dat uit de ketel komt de gewenste temperatuur heeft bereikt mengt de recirculatie-eenheid dit continu met aangevoerd koud water zodat het water dat de ketel in stroomt de optimale temperatuur heeft.

Système Chaudière

Chaudière bois bûches

Vase ouvert / sans pression

Ballon tampon, Kit recyclage

Ballon Tampon Chaudière

Volume en fonction de taille du foyer de combustion

Foyers courants:

- Minimale 80 l

- Maximale 200l

Volume ballon recommandé:

- Minimale 10 x foyer

- Maximale 20 x foyer

Soit entre 800 l et 4000 l

Estimation Initiale:

Stock Chaudière 3000 litres

Evenals in het zonnecollectorsysteem wordt de koppeling met het verbruiksgebied gerealiseerd door middel van warmtewisselaars. Aangezien het buffervat op atmosferische druk staat ligt eigenlijk geen andere oplossing voor de hand.

6. Uitgangspunten combisysteem

6.1. Filosofie

In het begin van dit verhaal heb ik het al genoemd. Het zou toch prachtig zijn als je zonnewarmte en houtstook naadloos kunt combineren in één systeem. In de zomer is er in principe geen verwarming nodig en zouden de zonnecollectoren in de volledige warmwaterbehoefte moeten kunnen voorzien. In de winter is er nauwelijks zon en voorziet het houtstookstelsel in de behoefte aan zowel warm water als verwarming. In de overgangsseizoenen putten we maximaal warmte uit de zonnecollectoren en vullen dit aan met zo min mogelijk houtstook. Kortom, vier seizoenen tevredenheid.

6.2. Knelpunten

Helaas liggen er ten aanzien van het gedroomde naadloze zonnecollector-houtstookstelsel toch nog wat leeuwen en beren op de weg.

Allereerst is daar de bepaling van de grootte van het buffervat. Met ruim 11 m² netto oppervlak aan zonnecollectoren verwarm je op een redelijk zonnige dag comfortabel zo'n 1000 liter water. Maar een buffervat voor een béétje serieuze houtstookketel is al snel minimaal 3000 liter. Dus kun je kiezen. Je maakt het buffervat groot, maar dan krijgen je zonnecollectoren het niet warm, en méér zonnecollectoren is voor uitsluitend de warmwaterbehoefte in de zomer niet rendabel. Of je maakt het buffervat klein, maar dan kookt het over als je er een serieuze houtstookketel aan hangt, en bij een te kleine houtstookketel ben je continu aan het stoken.

Ook moet rekening worden gehouden met de temperatuurhuishouding in het buffervat in relatie tot zonnecollectoren en houtstookketel. Zonnecollectoren werken beter naarmate het instromende water kouder is. Houtstookketels houden daarentegen niet van al te koud instromend water, daarom zijn ze ook voorzien van een recirculatie-eenheid die zorgt voor een minimumtemperatuur van het instromende water. Het valt niet mee om aan deze tegenstrijdige uitgangspunten in het buffervat tegemoet te komen. Zeker, het aansluiten van de diverse wateraanvoer- en afvoerleidingen op de optimale hoogte helpt om gebruik te maken van de stratificatie in het buffervat. Maar stratificatie is geen wondermiddel, het wordt verstoord door stromingen en geleiding door de metalen wand van het buffervat.

Last but not least is daar het probleem van de beschikbaarheid van de zon versus de behoefte aan verwarming. Die behoefte aan verwarming is, het zal niet verbazen, het grootst als de zon nu juist niet schijnt. Daar komt nog bij dat de aanwezigheid van voldoende zon niet met zekerheid te voorspellen is. Dus, als je zojuist het buffervat hebt opgewarmd door middel van de houtstookketel, of daar zelfs nog mee bezig bent, en plotseling breekt de zon door? Dan wil je graag zo veel mogelijk van die extra energie gebruik maken. Maar dan moet de temperatuur van de watervoorraad niet dermate hoog liggen dat die niet verder kan worden opgewarmd. En ook weer niet zó laag dat als de zon toch niet doorbreekt, het water niet warm genoeg is om er iets nuttigs mee te doen.

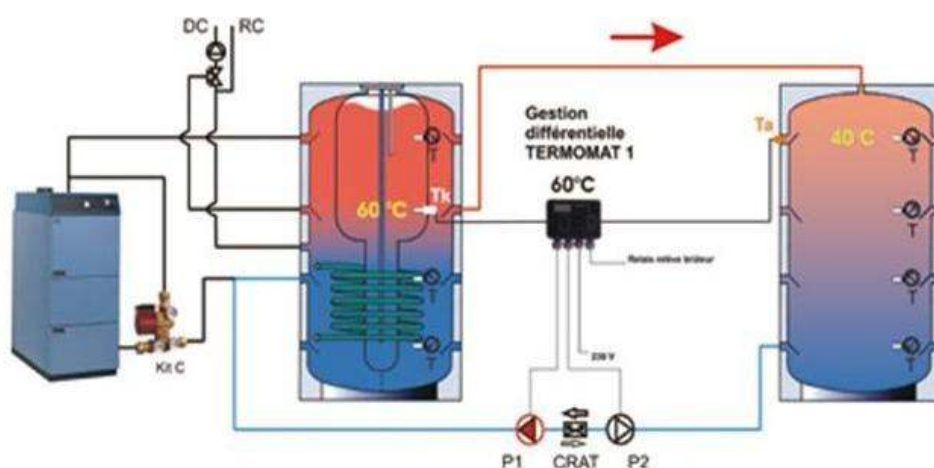
De conclusie uit al die tegenstrijdige belangen is eigenlijk, dat je niet met één enkel buffervat voor zowel zonnecollectoren als houtstookketel uit kunt komen. De vraag wordt dan dus, hoe kun je een systeem met meerdere buffervaten toch zich als één naadloos geheel qua gebruiksgemak laten manifesteren?

6.3. *Inspiratie*

Echte uitvinders bedenken iets dat nog niet bestond. Ik ben geen echte uitvinder, dus ik behoud mij het recht voor me te laten inspireren door dingen die reeds bestaan, met andere woorden reeds door anderen zijn uitgevonden.

Voor wat betreft het integreren van zonnecollectorsystemen en houtstooksystemen met eigen buffervaten kwam ik een naar mijn mening zeer elegante oplossing tegen op de website van [HS-France]. Deze oplossing is hieronder weergegeven in Figuur 7, Figuur 8 en Figuur 9.

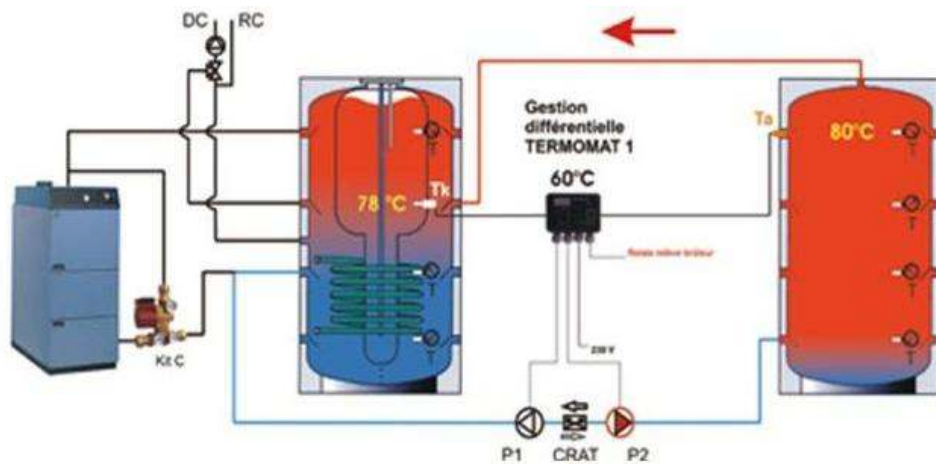
De beschrijvingen van de werking van het systeem spreken voor zichzelf.



Cas N°1: Chaudière ou/et panneaux solaires en fonctionnement

La décharge (circulateur P1) démarre dès que la température mesurée Tk atteint la température de consigne réglée sur le Termomat (valeur pouvant être réglée de 60°C à 75°C). La décharge s'arrête dès lors que la valeur de Tk a chuté de 4°C. Ce cycle se reproduit à chaque fois que Tk atteint la consigne réglée.

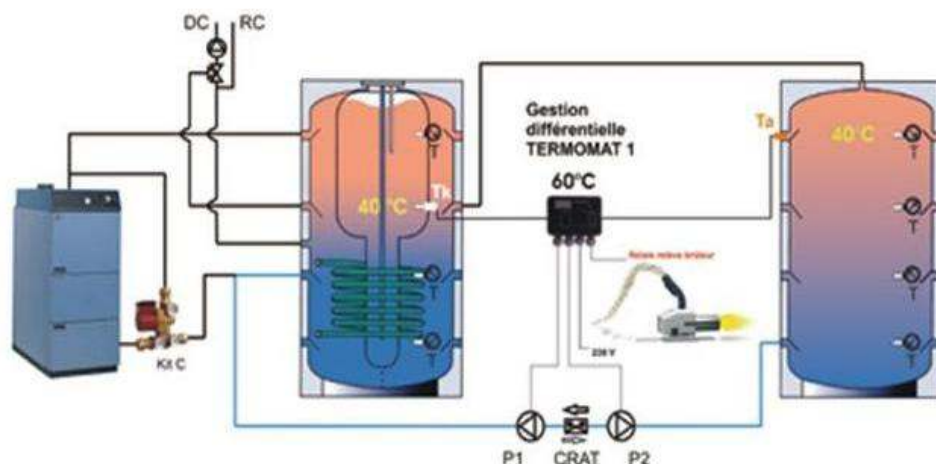
Figuur 7 : Overzicht buffersysteem HS France deel 1



Cas N°2: Chaudière et panneaux solaires à l'arrêt

La restitution (circulateur P2) démarre dès que la température mesurée T_a est supérieure de 2°C à la température mesurée T_k . La restitution s'arrête dès lors que les températures T_k et T_a sont identiques. Ce cycle se reproduit à chaque fois que T_a est supérieur à T_k de 2°C.

Figuur 8 : Overzicht buffersysteem HS France deel 2



Cas N°3: Chaudière et panneaux solaires à l'arrêt et ballons déchargés

La relève d'énergie annexe (brûleur, PAC, résistance électrique...) démarre dès que T_k est inférieur à T_a et à 40°C. Cette relève est active jusqu'à ce que la température mesurée T_k est égale à la température de consigne moins 5°C. La relève ne charge en aucun cas le second accumulateur d'énergie et les circulateurs P1 et P2 sont à l'arrêt.

Figuur 9 : Overzicht buffersysteem HS France deel 3

Het systeem van [HS-France] maakt gebruik van een temperatuur-differentiaalregeling en een tweerichting circulatiesysteem. Deze oplossing bestaande uit regelaar en circulatiepompen wordt kant en klaar aangeboden door [Acaso].

Het systeem bestaat uit een master en een slave buffervat. Het master buffervat is multifunctioneel en bevat een "bain marie" boiler voor de warmwatervoorziening en een warmtewisselaarspiraal voor koppeling met een zonnecollectorsysteem. Het slave buffervat is niets anders dan een "dom" buffervat dat is bedoeld om overschotwarmte op te slaan.

Op het moment dat er in het master buffervat een warmteoverschot ontstaat, gaat de circulatiepomp P1 draaien en pompt koud water van het slave buffervat naar de master. Als gevolg hiervan stroomt warm water van het master buffervat naar de slave.

Wanneer in het master buffervat een warmtetekort ontstaat, gaat de circulatiepomp P2 draaien en pompt koud water van het master buffervat naar de slave. Als gevolg hiervan stroomt warm water van het slave buffervat naar de master.

Als er in geen van beide buffervaten meer genoeg warmte is neemt een elektrisch verwarmingselement het verwarmen van het master buffervat voor zijn rekening zodat er in elk geval warmwater beschikbaar is.

6.4. Aanpassingen

Voor mijn toepassing heb ik het systeem van [HS-France] op de volgende punten aangepast:

Aspect	Oorspronkelijk systeem	Mijn oplossing
Druk	Gesloten systeem onder druk. Expansievat en overdrukbeveiliging. Gesloten buffervaten.	Drukloos systeem of beter gezegd, systeem onder atmosferische druk. Geen expansievat. Geen overdrukbeveiliging. De buffervaten kennen een ontluchting/overloop naar de buitenatmosfeer.
Zonnewarmte	Warmtewisselaar spiraal voor een gesloten zonnecollectorkringloop met antivriesvloeistof.	Open leegloopsysteem zonnecollectorkringloop direct met het water in het master buffervat.
Warmwater	“Bain marie” oftewel “tank-in-tank” boiler voor warmwater voorziening.	Warmtewisselaar spiraal in master buffervat voor instantane warmwater productie.
Verwarming	Directe kringloop, water uit buffervat circuleert in verwarmingsinstallatie.	Warmtewisselaar spiraal in master buffervat waardoor verwarmingsinstallatie water circuleert.
Niveaus	Onbelangrijk omdat systeem onder druk staat.	Rekening houden met variërende vloeistofniveaus door wel/niet in werking zijn zonnecollectorkringloop. Koppelingen tussen de buffervaten moeten “onder de waterlijn” liggen.

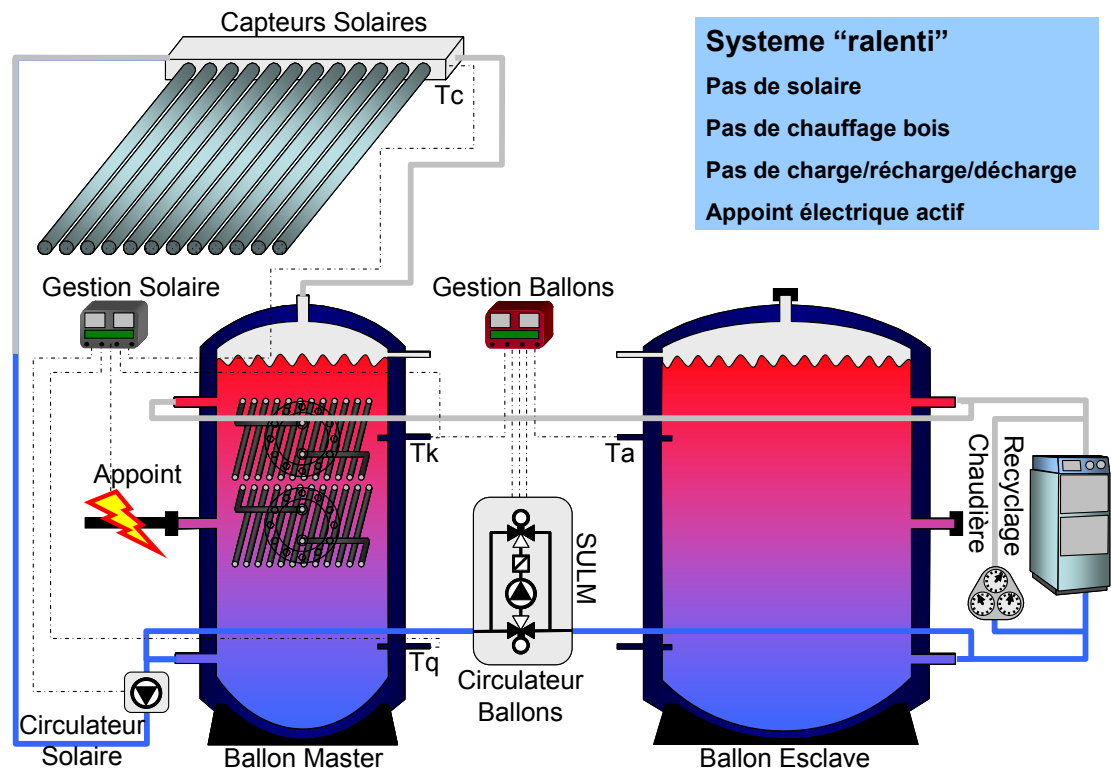
Aspect	Oorspronkelijk systeem	Mijn oplossing
Circulatie	Door middel van [Acaso] Termovar, twee circulatiepompen en een dubbelwerkende terugslagklep.	Door middel van willekeurige temperatuur differentiaalregeling en [SULM] module met één circulatiepomp en twee driewegkranen. Dit omdat in de praktijk problemen worden genoemd met de dubbelwerkende terugslagklep en de twee circulatiepompen.
Koppeling houtstook ketel	Koppeling met master buffervat waarin zich ook warmtewisselaars voor warmwater en verwarming bevinden.	Directe koppeling met slave buffervat. Dit omdat de houtstookketel dikkere leidingaansluitingen heeft dan op het master buffervat voorhanden, ik hierdoor op het master buffervat een aansluiting vrijhoud voor een elektrisch verwarmingselement en ik later een complete set van houtstookketel plus buffervat kan kopen en gemakkelijk als geheel kan toevoegen.

Het resulterende systeem wordt in het vervolg van dit verhaal in detail onder de loep genomen.

7. Werking combisysteem

7.1. Systeem in rusttoestand

In de rusttoestand draaien de circulatiepompen niet. Er wordt geen zonnewarmte gewonnen en ook geen hout gestookt. De watervoorraad in de buffervaten is gelaagd, het warmste water bevindt zich bovenin, het koudere onderin. Eventueel is ten behoeve van de warmwatervoorziening het elektrische verwarmingselement actief, hoewel dat in principe als ongewenst wordt beschouwd. Zie Figuur 10.

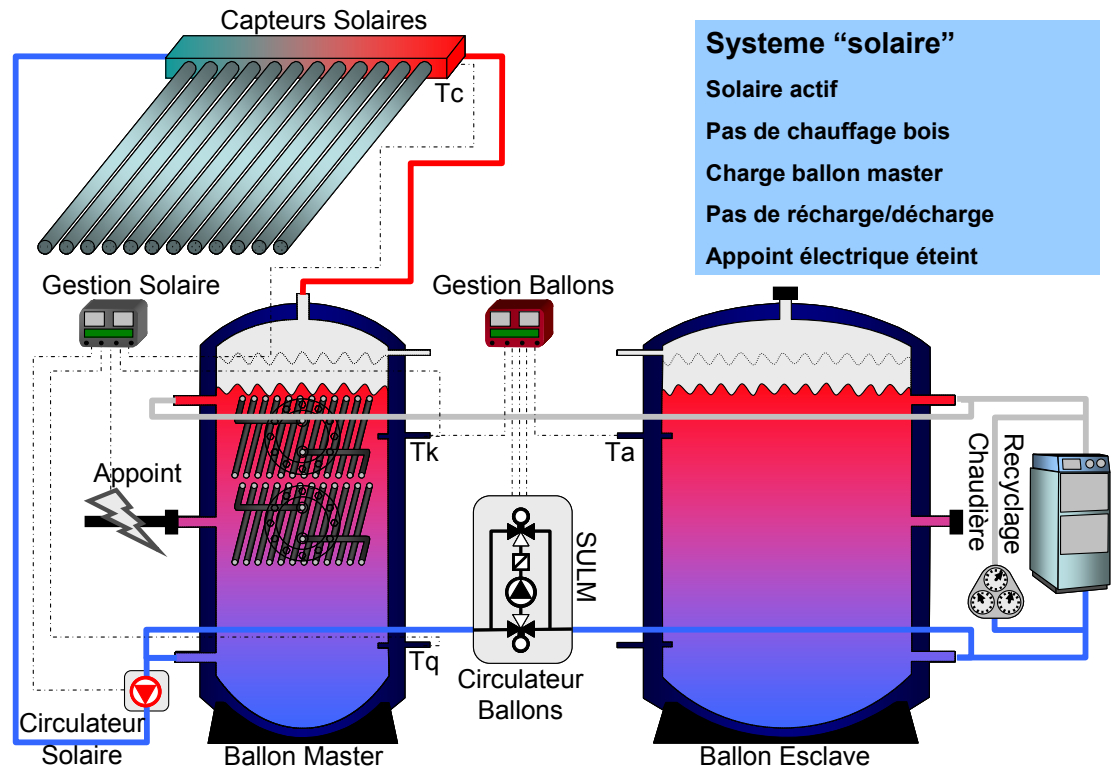


Figuur 10 : Overzicht combisysteem in rusttoestand

Deze toestand kan gehandhaafd blijven zolang de temperatuur bovenin het master buffervat voldoende hoog is om de warmwatervoorziening te verzorgen. Bovendien is óf de temperatuur in het master buffervat ook hoog genoeg om de verwarmingsinstallatie te bedienen, óf er is geen verwarming nodig. Last but not least is er geen- of te weinig zon om warmte via de zonnecollectoren te kunnen inwinnen.

7.2. Zonnecollectoren actief

Het systeem komt vanuit de rusttoestand in deze toestand als de temperatuur T_c aan de uitgang van de collectoren minimaal X graden hoger wordt dan de temperatuur T_q onderin het master buffervat. Zie Figuur 11.



Figuur 11 : Overzicht combisysteem met zonnecollectoren actief

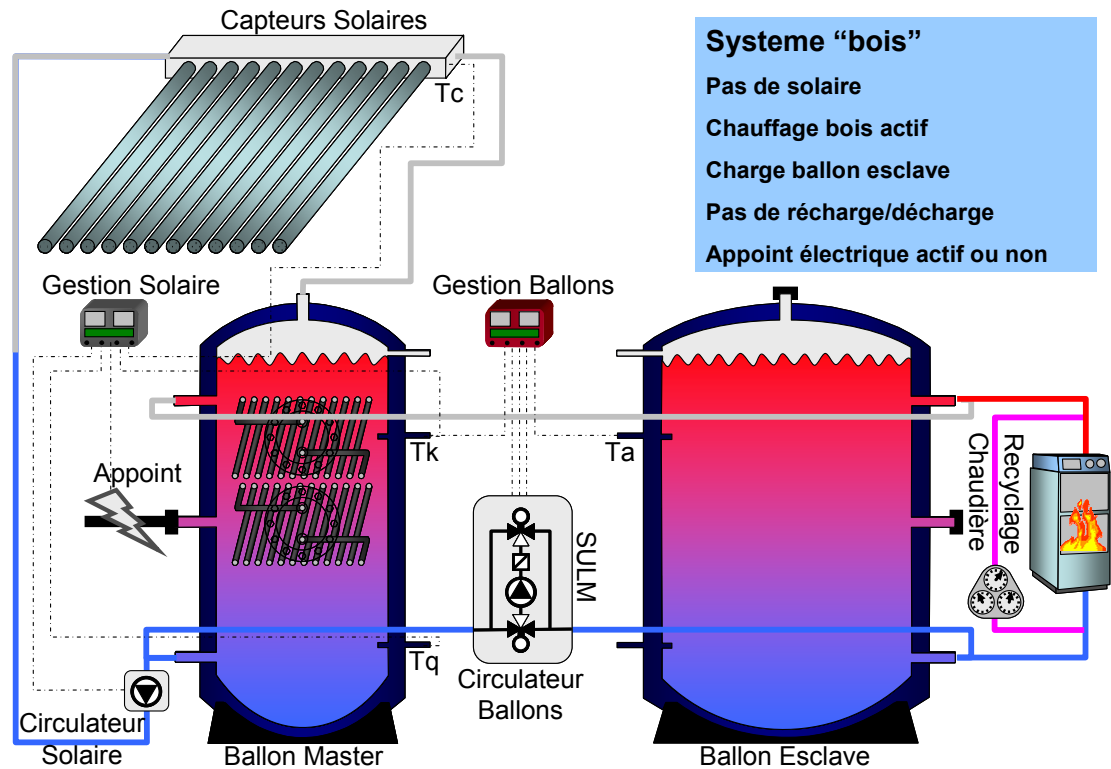
De circulatiepomp van de zonnecollectorkringloop (circulateur solaire) komt in werking en pompt water vanuit het master buffervat naar de zonnecollectoren. Daardoor daalt het waterniveau in het master buffervat en dus ook in de slave omdat die vaten met elkaar corresponderen. Dit zal enige verstoring van de stratificatie in het master buffervat betekenen omdat water van onbekende temperatuur vanuit het slave buffervat wordt aangetrokken, maar omdat er direct een warmwaterstroom vanuit de zonnecollectoren op gang komt valt dat effect waarschijnlijk te verwaarlozen.

De circulatiepomp van de buffervatkringloop (circulateur ballons) staat stil, dus er zal voor de zonnecollectorkringloop uitsluitend water uit het master buffervat worden gepompt en ook weer in het master buffervat teruggestort. Dus als de zonnecollectorkringloop op gang is gekomen zal er hoogstens een zeer beperkte uitwisseling zijn tussen master en slave buffervat.

De zonnecollectorkringloop blijft actief zolang de temperatuur T_c aan de uitgang van de collectoren minimaal X graden hoger is dan de temperatuur T_q onderin het master buffervat, én de temperatuur T_k bovenin het master buffervat een bepaalde waarde niet overschrijdt.

7.3. Houtstook actief

Het systeem komt vanuit de rusttoestand in deze toestand als men op basis van de temperatuuraanwijzingen van beide buffervaten tot de conclusie komt dat het tijd wordt een lading hout op te stoken. Zie Figuur 12.



Figuur 12 : Overzicht combisysteem met houtstook actief

Op het moment dat de verbranding in de houtstookketel op gang komt zal de recirculatie-eenheid (recyclage chaudière) in eerste instantie het lauwe water dat uit de ketel komt direct terugvoeren naar de waterinlaat. Dit heeft tot doel de houtstookketel zo snel mogelijk op temperatuur te brengen om condensatie en corrosie zoveel mogelijk te beperken.

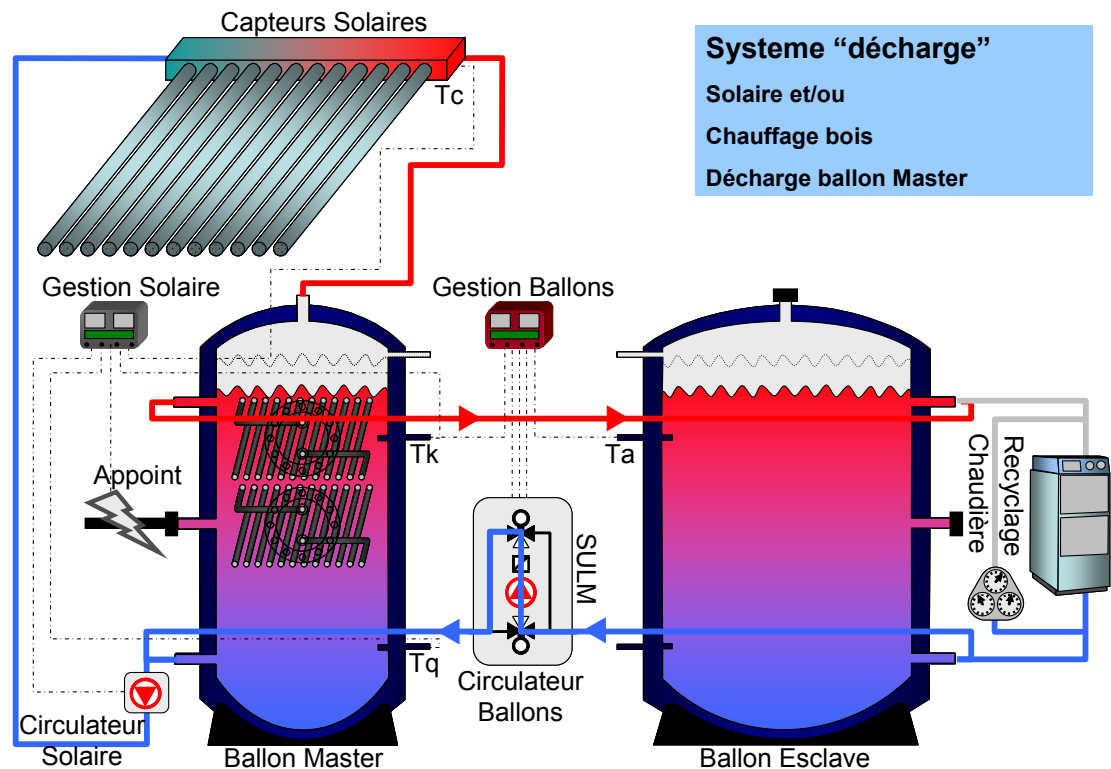
De ingang van de recirculatie-eenheid is aangesloten op de onderste opening van het slave buffervat. Hierdoor zal in het uiterste geval de houtstookketel het slave buffervat vrijwel geheel van boven tot onder op temperatuur kunnen brengen. Daartoe is vanzelfsprekend de inhoud van het buffervat afgestemd op de inhoud van de verbrandingskamer van de houtstookketel.

Op het moment dat de houtstookketel warm genoeg is, zal de recirculatie-eenheid koud water vanuit het slave buffervat gaan aanvoeren, dit doen verwarmen en het warme water terugpompen in het slave buffervat. De circulatiepomp van de buffervatkringloop (circulateur ballons) staat stil, dus er zal voor de houtstookketel uitsluitend water uit het slave buffervat worden gepompt en ook weer in het slave buffervat teruggepompt. Er zal dus waarschijnlijk geen uitwisseling van betekenis zijn tussen master en slave buffervat.

Het proces stopt nadat de voorraad hout in de houtstookketel is opgebrand.

7.4. Overladen overschotwarmte

Het systeem komt in deze toestand als de temperatuur T_k bovenin het master buffervat boven een ingestelde temperatuurgrens komt. Dat kan gebeuren als er buitengewoon veel zonnewarmte wordt ingewonnen, bijvoorbeeld op een zonnige zomerdag. Zie Figuur 13.



Figuur 13 : Overzicht combisysteem tijdens overladen overschotwarmte

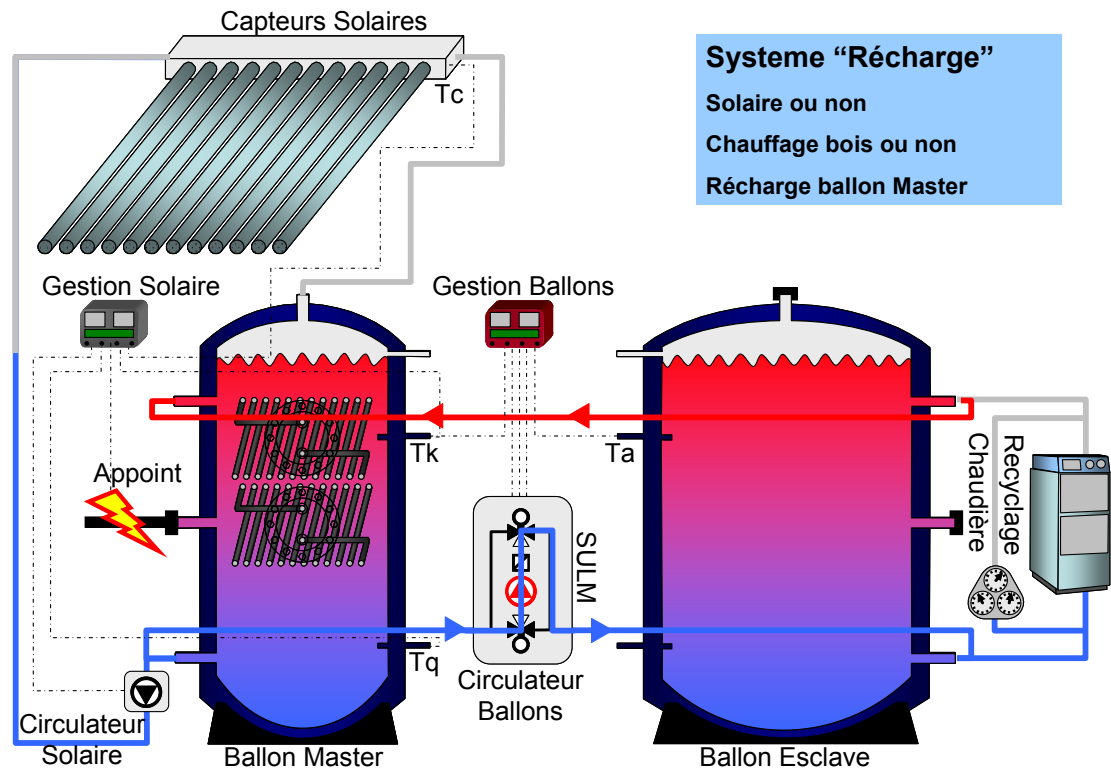
De driewegkranen van de overlaadeenheid (Speicher UmLade Modul SULM) worden ingesteld en de circulatiepomp van de buffervatkringloop (circulateur ballons) gaat draaien. Hierdoor wordt koud water van onderin het slave buffervat naar onderin het master buffervat gepompt. Doordat dit drukloze communicerende vaten zijn, zal warm water van bovenin het master buffervat naar bovenin het slave buffervat stromen.

Het overladen van de overschotwarmte gaat door totdat de temperatuur T_k bovenin het master buffervat met Y graden is gedaald.

Het water onderin het master buffervat wordt door deze methode op een zo laag mogelijke temperatuur gebracht, teneinde het rendement van de zonnecollectoren te maximaliseren.

7.5. Terugladen overschotwarmte

Het systeem komt in deze toestand als de temperatuur T_a bovenin het slave buffervat Z graden hoger is dan de temperatuur T_k bovenin het master buffervat. Dat kan gebeuren als er energie wordt onttrokken ten behoeve van huishoudelijk warmwater of verwarming terwijl er onvoldoende zonnewarmte wordt ingewonnen, of een lading hout wordt gestookt. Zie Figuur 14.



Figuur 14 : Overzicht combisysteem tijdens terugladen overschotwarmte

De driewegkranen van de overlaadeenheid (Speicher UmLade Modul SULM) worden ingesteld en de circulatiepomp van de buffervatkringloop (circulateur ballons) gaat draaien. Hierdoor wordt koud water van onderin het master buffervat naar onderin het slave buffervat gepompt. Doordat dit drukloze communicerende vaten zijn, zal warm water van bovenin het slave buffervat naar bovenin het master buffervat stromen.

Het terugladen van de overschotwarmte gaat door totdat de temperatuur T_a bovenin het slave buffervat gelijk is aan de temperatuur T_k bovenin het master buffervat.

Het water onderin het master buffervat blijft door deze methode zo koud mogelijk teneinde het rendement van de zonnecollectoren te maximaliseren.

8. Evaluatie basisvoorwaarden en ontwerpcriteria

De grondslagen van het systeem zijn in het voorgaande voldoende uitgewerkt om een evaluatie van de in het begin opgestelde basisvoorwaarden en ontwerpcriteria mogelijk te maken.

- BO1 : KISS principe. Hoewel ingewikkelder dan een open haard of elektrische wandkachel, is dit naar mijn mening het minimum waarmee je kunt volstaan om een comfortabel gecombineerd zonnewarmte-houtstookstelsel te realiseren.
- BO2 : Koppelvlak productiegebied-verbruiksgebied. Een helderder scheiding dan deze gerealiseerd met warmtewisselaars zou ik niet weten te bedenken.
- BO3 : Autoconstructible. Persoonlijk zie ik wel kans het beschreven systeem te bouwen en aan het werk te krijgen. Niets van wat is beschreven is nu echt "rocket science".
- BO4 : Exploitatiekosten. Na de initiële investering beperken de exploitatiekosten zich tot het jaarlijks verzorgen van de benodigde stères brandhout en wat elektriciteitsverbruik door de circulateurs en de regeleenheden. Op mijn terrein groeit veel hout en ook is hier in de omgeving goedkoop aan hout te komen mits je het zelf zaagt en klooft, en dat doe ik nu ook al.
- BO5 : Flexibel. Het is zeer wel mogelijk te beginnen met uitsluitend het zonnecollectorsysteem met master buffervat als compleet pakket. In een later stadium kan dan het slave buffervat worden toegevoegd met een capaciteit gebaseerd op de dan voorhanden gegevens van het huis, waarbij de capaciteit van de houtstookketel weer op die van het slave buffervat wordt aangepast. Eventueel kunnen meerdere kleinere slave buffervaten in Tichelmann worden geschakeld. Die houtstookinstallatie kan eventueel ook als pakket worden verworven en met een minimum aan impact op het bestaande zonnecollectorsysteem worden aangesloten.
- BO6 : Leveranciersonafhankelijkheid. Alle componenten zijn uit meerdere bronnen te betrekken, met uitzondering van de regeleenheid voor de zonnecollectorkringloop die specifieke programmatuur bevat voor het cavitatievrij laten aanlopen van de pomp. Maar zelfs als dat een probleem oplevert kan gebruik worden gemaakt van twee pompen in serie om een eventueel cavitatieprobleem te overwinnen.

BO7 : Lage temperatuur. Het systeem leent zich uitstekend om te combineren met een lage-temperatuur verwarmingsinstallatie zoals vloerverwarming. Dit werkt zelfs beter dan met hoge-temperatuur radiatoren, omdat de temperatuur in de buffervaten tot lagere niveaus kan dalen vóóordat de verwarming een probleem wordt.

9. Slotbeschouwingen en “things to do”

9.1. Capaciteitsberekening

Het beschreven systeem in een uitwerking in “ruwe schets”. Uiteindelijk zullen nog de nodige meer gedetailleerde berekeningen moeten worden gemaakt teneinde het systeem de juiste grootte voor de te verwachten verbruikssituatie te geven. Ik ga er echter vanuit dat het systeem op de gewenste schaal gerealiseerd zal kunnen worden.

9.2. Bijvullen waterniveau

Een bekend nadeel van open systemen is dat er de nodige verdamping plaats vindt. Er zal dus minimaal een voorziening moeten zijn om het systeem eenvoudig te kunnen bijvullen, zoals een koppeling met afsluiter met het waterleidingnet. Een niveau-indicatie zoals een peilbuis waarop het waterniveau is af te lezen zal op problemen kunnen stuiten vanwege vervuiling van de statische watervoorraad in de buffervaten, dus dat zal door middel van een manometer moeten worden uitgevoerd.

9.3. Ontluchting en overloop

Er moet aandacht worden besteed aan de ontluchting/overloop. Omdat in de watervaten langdurig relatief lage watertemperaturen kunnen heersen, is de vorming van Legionella in principe niet onmogelijk. De huishoudelijke warmwatervoorziening en de verwarmingsinstallatie zijn door middel van warmtewisselaars hiervan gescheiden, dus dat levert geen risico's op. Dat geldt echter niet voor de via de ontluchting/overloop vrijkomende waterdamp. Die moet daarom naar de buitenlucht worden afgevoerd. Via de ontluchting/overloop kan onder omstandigheden ook zeer heet water naar buiten komen. Er mag geen risico ontstaan dat mensen zich hieraan branden, en er kan ook niet direct in een PVC afvoerbuis geloosd worden omdat die zou smelten. Wellicht is het mogelijk de vrijkomende waterdamp op weg naar buiten te koelen zodat deze zoveel mogelijk als condens terugstroomt in plaats van verloren te gaan. Dit vergt nog wat denkwerk.

9.4. Expansie en druk

Het door mij voorgestelde systeem is drukloos uitgevoerd, hetgeen eigenlijk wil zeggen dat het onder niet méér dan atmosferische druk staat. Als de buffervaten normaal gevuld zijn heerst op het laagste punt in het systeem dus slechts ongeveer 2 mwk druk oftewel 0,2 bar. Daardoor kan in theorie een probleem ontstaan met cavitatie in de circulatiepompen, zeker als de temperatuur van het te verpompen water stijgt. Hiervoor moet ik mij nog eens terdege in de pompkrommen van de bekende leveranciers verdiepen. Een mogelijkheid zou kunnen zijn, de statische druk in het systeem te verhogen door de overlopen van de buffervaten aan te sluiten op een hoger gelegen open expansievat. Als dit expansievat op 4 meter hoogte zou liggen zou de druk in het laagste punt van het systeem 4 mwk oftewel 0,4 bar kunnen worden. Dit onderwerp verdient nog wat nadere studie.

9.5. Regeleenheden

Het tot dusver uitgewerkte systeem bevat twee regeleenheden, namelijk één voor de zonnecollectorkringloop en één voor de buffervatkringloop. Voor de informaticus is dat natuurlijk verre van ideaal. Aan de aanschaf van de regeleenheid voor de zonnecollectorkringloop zal ik waarschijnlijk niet ontkomen, die hoort bij het pakket en bevat de speciale programmatuur voor het cavitatievrij starten van de pomp. Maar voor de tweede regeleenheid kan ik natuurlijk eens kijken naar een PLC. Bijvoorbeeld de Millennium III series van Crouzet is heel erg populair bij de Franse zelfbouwers van zonnecollectorsystemen. Er staan zelfs de nodige voorbeeldprogrammeringen gebruiksklaar op Internet [Apper]. Zo'n PLC in combinatie met alle sensoren en actuatoren in het systeem geeft je natuurlijk oneindig veel meer mogelijkheden. Echter, of ik dat wil? Ik weet het nog niet.

In elk geval zal mijn vrouw er iets van vinden als ik mij regelmatig afzonder om de verwarmingsinstallatie te gaan programmeren...

10. Bronnen en referenties

[Bysun]	Website http://www.bysun.fr . Leverancier van het complete ATMOS bouwpakket, een open leegloop-zonnecollector systeem voor de autoconstructeur. Details op: http://www.bysun.fr/Syst_me_solaire_ATMOS_F_grp_32-1.html .
[Apper]	Website http://www.apper-solaire.org . Barstensvol informatie over het gebruik van zonne-energie, met veel ervaringen van gebruikers waaronder ook veel autoconstructeurs
[HS-France]	Website http://www.hsfrance.com/ . Bron van inspiratie voor mijn eigen systeem. Details van deze bron op: http://www.hsfrance.com/sysmodules/RBS_fichier/admin/download.php?fileid=692 en zie in het betreffende document het hoofdstuk over de Termomat 1.
[Acaso]	Website http://www.lkacaso.se . Fabrikant van de Termomat temperatuur differentiaal regeling die onder andere wordt gebruikt in de oplossing van HS France. Details op: http://www.lkacaso.se/Documents/LK%20Acaso/LK%20eng/Termomat_1_ENG.pdf
[SULM]	Website http://www.tiba.ch/ . Fabrikant van de SpeicherUmLadeModul (SULM). Details op: http://www.tiba.ch/produkte/gesamtheizsysteme/pdf/Preiskatalog_Hydraulik_fr.pdf