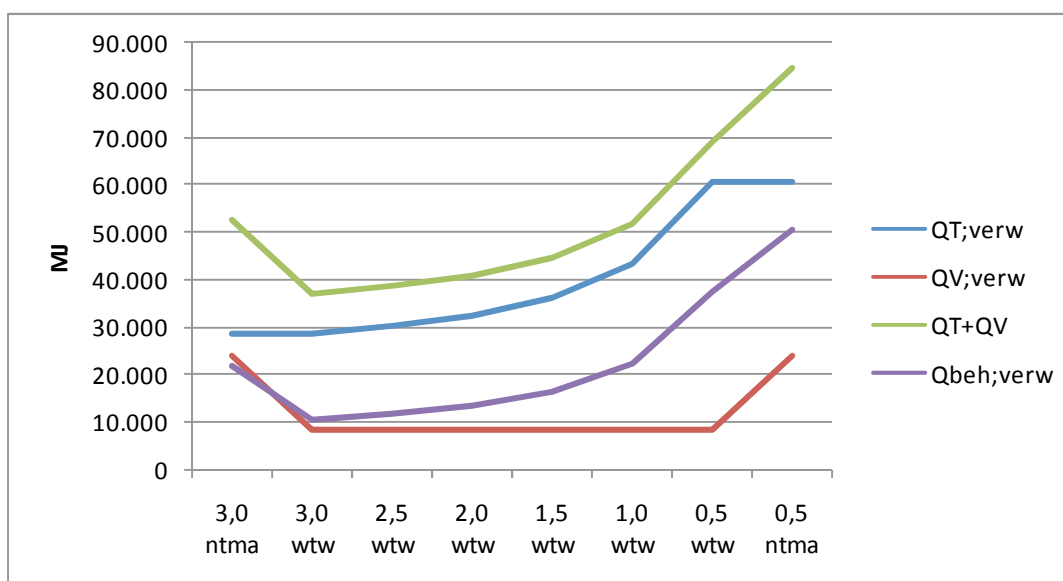


Resultaten energiestromen

Energieverlies door transmissie en verwarmingsbehoefte

Het energieverlies door transmissie in de woning daalt met 40 tot 50% wanneer een niet geïsoleerde woning geïsoleerd wordt tot een Rc van 1,5 respectievelijk 2,5 m².K/W. Voor de verwarmingsbehoefte, de energie die aan de verblijfsruimten toegevoegd moet worden, is de reductie bij deze isolatiewaarden aanzienlijk hoger en bedraagt respectievelijk 55 en 70%.

Dit wordt veroorzaakt door de warmtebalans in de woning. Er moet ook rekening gehouden worden met de zonnewarmte winst en de warmte winst door aanwezige personen. De verwarmingsbehoefte (vanuit de verblijfsruimten) is altijd kleiner dan de transmissieverliezen door transmissie en ventilatie.



Figuur 1: Energieverlies voor verwarming door transmissie (QT) en ventilatie (QV), en de verwarmingsbehoefte vanuit de verblijfsruimten in MJ voor de SenterNovem referentietussenwoning bij verschillende isolatiewaarden van de schil en balansventilatie met warmteterugwinning (wtw) of natuurlijke toevoer en mechanische afvoer (ntma).

Het energieverlies door transmissie (QT) en de verwarmingsbehoefte (Qbeh;verw) zijn niet rechtevenredig met de isolatiewaarde: bij de laagste isolatiewaarden wordt het energieverlies door transmissie en de verwarmingsbehoefte het meest gereduceerd.

Het energieverlies door transmissie wordt voor een groot deel bepaald door de isolatiewaarde van de dichte delen. Daarnaast spelen ook het *glastype en glasoppervlak* een rol.

In de referentietussenwoning is het oppervlak van ramen en deuren 40% van het totale geveleppervlak. Voor een niet geïsoleerde woning met natuurlijke toevoer/mechanische afvoer (0,5 wtw) en een matig geïsoleerde woning met een Rc van 2,0 m².K/W en warmteterugwinning (2,0 wtw) is bekeken wat de invloed is van het glastype en 30% meer of minder ramen (een totaal percentage aan open delen van 29 en 51%).

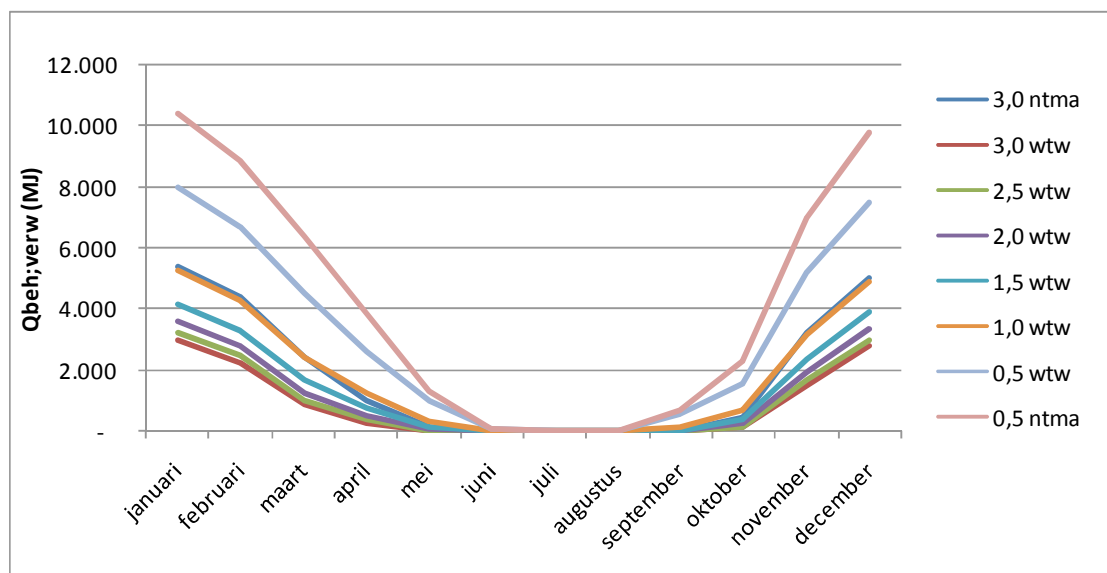
Bij beide woningen leidt het vervangen van enkel of dubbel glas door HR++ glas tot een belangrijke reductie van de verwarmingsbehoefte en het transmissieverlies. Alleen in de matig geïsoleerde woning is door het toepassen van 3 voudig glas de verwarmingsbehoefte nog circa 10% extra te reduceren. In de ongeïsoleerde woning is het effect gering.

Het totale percentage aan open delen is bij glaskwaliteiten als HR++ en 3 voudige beglazing slechts in geringe mate van invloed op de verwarmingsbehoefte. Bij de niet geïsoleerde woning leidt een hoger glasoppervlak tot een lagere verwarmingsbehoefte, bij de matig geïsoleerde woning werkt dit tegengesteld, zij het in geringe mate. In beide woningen ontstaat bij een hoger glasoppervlak een grote koelbehoefte.

Verwarmingsbehoefte

In het warm bouwen concept wordt door het toevoegen van warmte aan de buitenschil het transmissieverlies via de dichte delen opgeheven of geminimaliseerd. In de woning zal er een warmtebehoefte blijven bestaan voor het afdekken van het warmteverlies via de open geveldelen (ramen en deuren) en door ventilatie en infiltratie.

Wanneer in de woningen HR++ beglazing is aangebracht bedraagt het transmissieverlies via de dichte delen bij de niet geïsoleerde woning circa 65% en bij een Rc van 2,0 m².K/W circa 40% van het totale transmissieverlies.



Figuur 2: De verwarmingsbehoefte per maand vanuit de verblijfsruimten in MJ voor de SenterNovem referentietussenwoning bij verschillende isolatiewaarden van de schil en balansventilatie met warmteterugwinning (wtw) of natuurlijke toevoer en mechanische afvoer (ntma)

De verwarmingsbehoefte van de woning is in de maanden mei tot en met september nihil vanaf een isolatieniveau met een Rc van circa 2 m².K/W. Bij lagere isolatieniveaus is er ook in mei en september een beperkte verwarmingsbehoefte. Voor het winterhalfjaar is aanvullende verwarming in de verblijfsruimten nodig om tot een voldoende temperatuurniveau te komen (via naregeling).

Benutting restwarmte afgezogen ventilatielucht

Wanneer *balansventilatie met hoogrendement warmteterugwinning* wordt toegepast daalt de verwarmingsbehoefte voor de woning met 11 tot 13 GJ/jaar (respectievelijk bij Rc = 3 en 0,5 m².K/W). Bij een Rc van 3 m².K/W is dit ongeveer de helft van de verwarmingsbehoefte (voor ruimteverwarming), bij een Rc van 0,5 m².K/W ongeveer een derde. Voor balansventilatie wordt circa 100 kWh meer elektriciteit gebruikt.

In woningen zonder balansventilatie kan de warmte uit de afzuiglucht benut worden voor verwarming van warm tapwater via een warmtepompboiler. Voor verwarming van warm tapwater is op jaarbasis circa 11 GJ aan warmte nodig. Dit kan naar verwachting vrijwel volledig uit de ventilatielucht betrokken worden. Het elektriciteitsverbruik door de warmtepompboiler bedraagt ondanks de beschikbaarheid van restwarmte nog steeds circa 1600 kWh.

Vanuit exergetisch oogpunt ligt het voor de hand om de restwarmte te benutten voor een toepassing met hetzelfde of een lager temperatuurniveau. Opwerking naar een hoger temperatuurniveau, zoals in een warmtepompboiler is pas interessant wanneer de warmte niet voor balansventilatie (voor voorverwarming van de ventilatielucht) wordt gebruikt.

Bronbalans

De warmteopslag, nodig voor de warmteafgifte in de maanden oktober tot en met april, zal voor een belangrijk deel plaats moeten vinden in de maanden juni tot en met augustus (3 maanden). Ook in mei en september en op andere 'warme' dagen kan warmte geoogst worden. Onderzocht moet worden of volledige regeneratie van de bron mogelijk is gedurende de beschikbare 3 tot 4 zomermaanden.

Bij een R_c van 2,0 bedraagt de door het warm bouwen concept af te vangen transmissieverlies over het jaar heen circa 13 GJ. De resterende warmtebehoefte van de woning voor verwarming van de bedrijfsruimtes bedraagt circa 5 GJ, wat de totale warmtebehoefte brengt op 18 GJ.

Een traditionele zonnecollector heeft een energieopbrengst van 1,5 – 1,7 GJ/m². Voor niet afgedekte collectoren zoals asfaltcollectoren, dakcollectoren (energiedaken) en matten met slangen varieert de opbrengst tussen 0,5 en 1,0 GJ/m². Voor energiedaken worden ook vergelijkbare waarden als voor traditionele zonnecollectoren opgegeven. Voor warmtewinmuren zijn geen gegevens bekend.

Bovenstaande opbrengsten resulteren in een benodigd oppervlak van 15 – 40 m² collectoroppervlak (afhankelijk van het type collector) voor alleen ruimteverwarming exclusief systeemverliezen. Een dergelijk warmtewinoppervlak moet in de schil van een grondgebonden woning realiseerbaar zijn.

De warmte die in de zomermaanden in de woning 'weggekoeld' wordt is niet in de beschouwing meegenomen. Daarnaast moet ook nog rekening gehouden worden met de systeemverliezen die optreden in de seizoensopslag.

Een zonneboiler kan circa 40% van de warm tapwatervraag dekken. Hiervoor is aanvullende ca 3 m² dakoppervlak nodig.

Energiebehoefte voor circulatie van bronwater

Binnen het warm bouwen concept moet het energieverlies door transmissie door dichte delen afgevangen worden door water uit de warme bron te laten circuleren door de gevel, de vloer en het dak. Uitgaande van dit verlies en een delta-T van 10 graden (een en ander vergelijkbaar met koudeopslag in de EPN) moet circa 300 m³ water verpompt worden. Voor de COP van de pomp is een bandbreedte aangehouden van 12 tot 40. Afhankelijk hiervan ligt het elektriciteitsverbruik van de pomp tussen de 100 en 300 kWh voor het winterhalfjaar.

Aangenomen wordt dat voor het invangen van de warmte in het zomerhalfjaar een vergelijkbare hoeveelheid pompelektriciteit nodig is. Een eventuele koelbehoefte van de woning wordt naar verwachting hierdoor eveneens afgedekt.

In geval van een gas-combiketel ligt in de bovengenoemde situatie (warm bouwen concept, R_c 2 $m^2.K/W$ en HR-wtw) het primair energieverbruik (conform EPN) circa 5-15% lager dan bij een traditionele referentietussenwoning met een R_c van 3 $m^2.K/W$ en HR-wtw.

Mogelijke concepten

Er is van uit gegaan dat de temperatuur van de warme bron onvoldoende is om zonder verhoging te kunnen voorzien in de warmtebehoefte voor aanvullende verwarming/naregeling. Dit hangt echter sterk af van de uiteindelijke dimensionering van het bron- en afgiftesysteem en de benodigde afgiftecapaciteit. In principe is het realiseren van een warmere bron van bijvoorbeeld 23 graden mogelijk. Onduidelijk is of voldoende warmte van deze temperatuur beschikbaar is om een dergelijke bron (voldoende) te laden.

Voorlopig uitgangspunt is dat er aanvullende energie benodigd is voor naverwarming van de ventilatielucht en/of een watergedragen afgiftesysteem.

Voor tapwater zijn er verschillende bronnen die benut kunnen worden:

- Ventilatietourlucht (lucht/water warmtepomp) als er geen warmteterugwinning op ventilatielucht is;
- De warme bron (ophoging via warmtepomp), maar dan is extra collectoroppervlak nodig;
- Gasketel/badgeiser;
- Elektrische boiler;
- Zonneboiler (kan slechts een deel van warmwatervraag dekken).

De keuze voor de wijze van opwekking van warm water is bepalend voor de definitieve invulling van het energiesysteem.

Conclusies

Met een *isolatie* niveau van $R_c = 1,5$ tot 2 $m^2.K/W$ wordt de grootste reductie van het transmissieverlies bereikt (de eerste isolatie zet de meeste zoden aan de dijk). Het transmissieverlies wordt ten opzichte van een niet geïsoleerde woning gehalveerd. Ook wordt de warmtebehoefte voor verwarming meer dan gehalveerd.

Door *balansventilatie* met hoogrendement warmteterugwinning toe te passen (per vertrek of centraal in de woning) wordt de (resterende) warmtebehoefte gehalveerd. De extra hoeveelheid hulpenergie die hiervoor nodig is relatief gering, waardoor het energiebesparingseffect groot is. Benutting voor voorverwarming van ventilatielucht heeft daardoor de voorkeur boven het verwarmen van tapwater.

Er wordt van uitgegaan dat de temperatuur van de bron onvoldoende is voor naregeling van de ruimteverwarming. In dat geval is voor ruimteverwarming een opwekkingstoestel nodig. Het ligt voor de hand om dit toestel te combineren met de verwarming van tapwater om de investeringssom voor installaties beperkt te houden. Mogelijke concepten maken gebruik van:

- een gasketel, een combiketel of bijvoorbeeld een klein vermogen ketel gekoppeld aan een boiler voor tapwater.

- een elektrische (combi)warmtepomp op de warmwaterbron, met een boiler voor tapwater.
- elektriciteit voor zowel tapwater en ruimteverwarming. Vanuit duurzaamheid en de huidige opwekkingswijze van elektriciteit ligt gebruik van elektriciteit voor verwarming niet voor de hand. Gezien de geringe resterende warmtebehoefte kan dit echter, eventueel in combinatie met een zonneboiler, een te overwegen optie zijn.

Een zonneboiler maakt binnen bovenstaande benadering geen standaard onderdeel uit van het concept voor naregeling. Een dergelijke installatie kan echter altijd dienst doen als aanvullende duurzame maatregel.

PV-panelen, voor opwekking van elektriciteit op woningniveau, zijn om dezelfde reden niet in de beschouwing meegenomen omdat deze in alle concepten toegevoegd kunnen worden. PV-panelen zijn voorsnog niet kosteneffectief. Verwacht wordt echter dat binnen een periode van 10 tot 15 jaren PV-panelen op woningniveau kosteneffectief elektriciteit kunnen opwekken.

Onderzoeksvragen

Om beter begrip te krijgen in de werking en de mogelijke uitwerkingsrichting van het concept zijn onderstaande onderzoeksvragen geformuleerd.

Bron:

1. Is het mogelijk om met 1 bron meerdere temperatuurniveaus te realiseren? Is hiervoor een extra bronboring nodig of kan dit ook op een andere wijze gerealiseerd worden?
2. Wat is de maximale brontemperatuur die haalbaar is uit de seizoensopslag op basis van: alleen warmte-invangend gevel/dakoppervlak c.q. technische voorzieningen als zonnecollectoren?
3. Vanaf welke buitentemperatuur is er geen 'verwarming' van de schil meer nodig, een en ander afhankelijk van de mate van isolatie?

Warmte-opbrengst/balans

4. Wat is de warmte-opbrengst wanneer dak en/of geveloppervlak, zonder gebruik van specifieke warmtecollectoren, benut worden voor het invangen van warmte? Een en ander te specificeren naar materiaalgebruik en oriëntatie?

Naregeling

5. Hoe groot is de verwachte energiebehoefte voor naverwarming (regeling) in de woning (een en ander afhankelijk van de realiseerbare brontemperatuur)?
6. Wanneer er koeling van de schil (regeneratie van de bron) plaats vindt, is er dan op ruimteniveau nog wel behoefte aan een naregeling?

Hulpenergie

7. Wat is de maximaal haalbare COP (van het totale pompsysteem, bron- en woningpomp) bij warmte- en koudeopslag zonder gebruik van een warmtepomp?
8. Wat is daarbij het gemiddelde energieverbruik van een toerengeregelde pomp op jaarbasis (kosten voor bewoner/eigenaar)?