

Inzicht_Warmtelek

7 June, 2022
7:39

Deze notitie vormt de extra help-informatie bij het rekenblad [Inzicht_Warmtelek.xlsx](#)

Inleiding

Dit rekenblad, berekent energieverlies en temperaturen van een simpel rechthoekig huis.

Doel van dit rekenblad is om meer inzicht te verkrijgen in het warmteverlies door de verschillende elementen en de temperaturen die in de woning zullen gaan heersen.

Het huis heeft twee bewoonbare verdiepingen, een zolder, met puntdak en een kruipruimte. De tussenvloeren zijn niet geïsoleerd.

Aleen het invullen van de kleine gele velden is voldoende.

Disclaimer: dit rekenblad is slechts indicatief en er kunnen geen rechten aan worden ontleend

Als er een luchtstroom van beneden naar boven mogelijk is, zijn de verliezen op de bovenverdieping en zolder een stuk hoger (ook als je denkt daar niet te stoken).

Naast algemene gebruikersinformatie wordt in deze notitie ook uitgelegd welke formules zijn gebruikt om tot de getoonde resultaten te komen

Voorbeelden

[Voorbeeld-1](#): Hoekhuis 1986, dubbel glas beneden, enkel glas boven, verdieping niet direct verwarmd

[Voorbeeld-2](#): Hoekhuis 1986, dubbel glas beneden, enkel glas boven, verdieping wel direct verwarmd

[Voorbeeld-3](#): vergelijking tussen voorbeeld-1 en voorbeeld-2

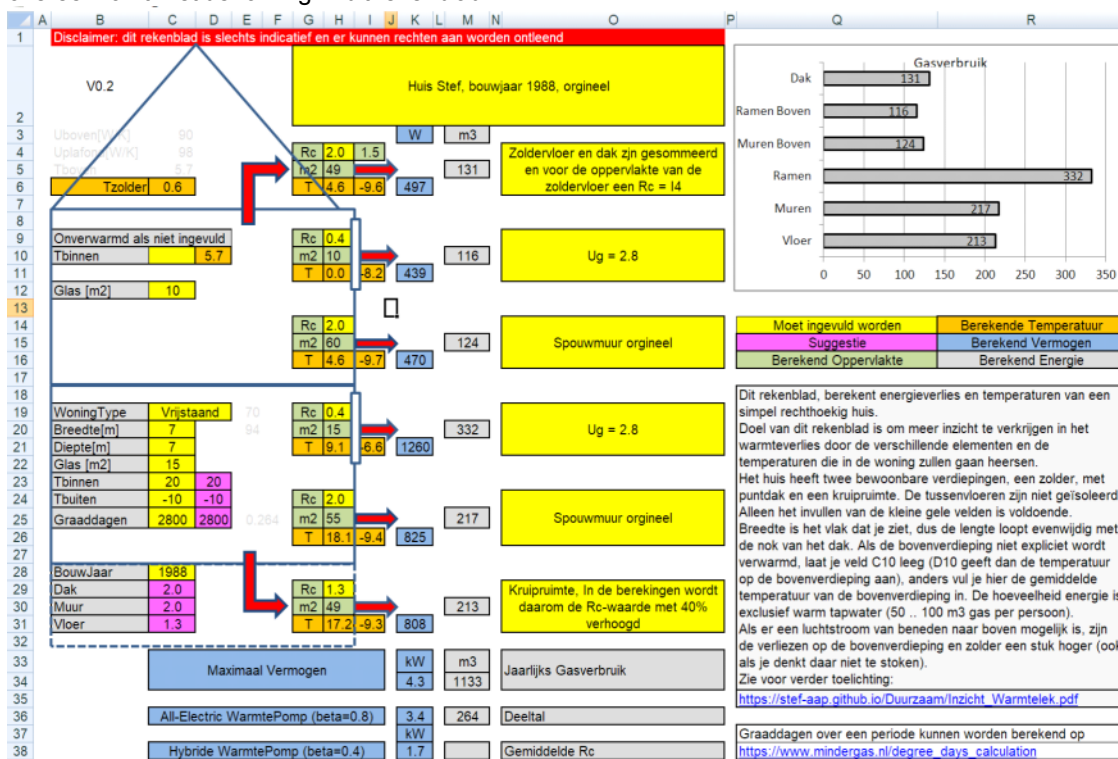
[Voorbeeld-4](#): Voorbeeld-1, maar dan met actieve warmtestroom tussen verdiepingen

[Voorbeeld-5](#): Voorbeeld isolatie van tussenvloer (eigen huis)

[Voorbeeld-6](#): Nieuwe in versie 04: effect van isolatie maatregelen en Rc-sandwich-berekeningen

Totaal Plaatje

Hier de situatie van mijn woning 5 jaar geleden, ik gebruikte toen zo'n 1200 m3 gas per jaar, hetgeen aardig overeenkomt met de raming in dit rekenblad.



Woning eigenschappen

Hieronder de invoervelden waar de belangrijkste woningeigenschappen (behalve Rc-waarden) moeten

worden ingevuld

De meeste parameters spreken voor zichzelf.
Een 2/1-kapper is thermisch gezien hetzelfde als een hoekwoning. Een flatwoning wordt momenteel niet ondersteund.

De nok van het dak loopt evenwijdig met de "Breedte".

Het gesuggereerde aantal graaddagen (paarse hok) is een goed gemiddelde. Als je het echte gasverbruik over een bepaalde periode wilt vergelijken met deze berekening, dan moet je het aantal gewogen graaddagen over dezelfde periode en bij de juiste temperaturen berekenen, dit zijn de gemiddelde binnentemperatuur en de stookgrens (zie verderop)
https://www.mindergas.nl/degree_days_calculation

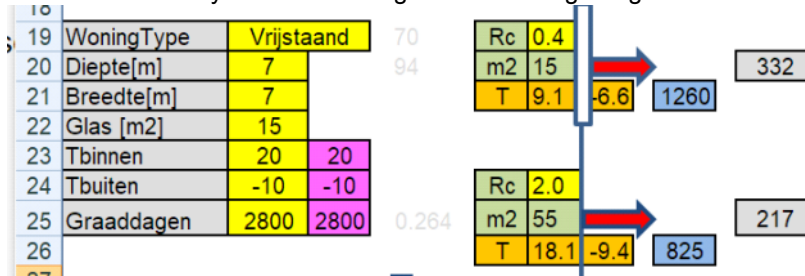
19	WoningType	Vrijstaand	
20	Diepte[m]	7	
21	Breedte[m]	7	
22	Glas [m2]	15	
23	Tbinnen	20	20
24	Tbuiten	-10	-10
25	Graaddagen	2800	2800

De waarde die bij Tbinnen en Tbuiten moeten worden ingevuld, zijn afhankelijk van doel:

Berekenen van de juiste oppervlakte temperaturen voor vergelijking met een warmtebeeld camera	Tbinnen en Tbuiten zijn de op dat moment heersende temperaturen. Bij voorkeur moeten deze worden gemeten met dezelfde warmtebeeldcamera, door de temperatuur van een blokje piepschuim te bepalen.
Berekenen van de capaciteit van de verwarmingsinstallatie	Tbinnen = de maximaal gewenste binnentemperatuur Tbuiten = -10 graden Celsius
Berekenen van het jaarlijks gasverbruik	Tbinnen en Tbuiten zijn hier niet van belang Graaddagen moet correct worden ingevuld

Begane grond

Hier zien we een symbolische weergave van de begane grond



Rechts zien we twee clusters van warmtelekken, onder het warmtelek van de muren en boven dat van de ramen. Hierin moet enkel de Rc waarde van respectievelijk de muren en het glas worden ingevuld (de gele hokjes), de rest wordt door het rekenblad berekend.

In dit geval is de Rc-waarde van de muur 2.0 en die van het glas 0.4. Die van het glas is hier ingevuld als U-waarde, namelijk in cel H19 is ingevoerd "=1/2.8".

Linksonder kun je in cel C29 het bouwjaar van het huis opgeven, waarna er suggesties verschijnen voor de Rc-waarden van de verschillende bouwdeelen (deze zijn gebaseerd op het bouwbesluit uit die tijd)

28	BouwJaar	1988
29	Dak	2.0
30	Muur	2.0
31	Vloer	1.3

In cel H20 staat het oppervlakte van het glas op de begane grond (rechtstreeks overgenomen van cel C24).

In cel H25 staat de berekende oppervlakte van de buitenmuren op de begane grond. Hierbij worden deuren genegeerd en wordt een hoogte van 2.5 meter verondersteld. Hierbij wordt gebruik gemaakt van hulpveld E19, waarin de omtrek van de woning als functie van het woningtype is vervat:

$$E19 = (2 * Breedte + WoningType * Diepte) * 2.5$$

Vervolgens :

$$H25 = (WoningType * Diepte + 2 * Breedte) * 2.5 - GlasOppervlakte = E19 - GlasOppervlakte$$

De oranje cellen geven de oppervlakte temperaturen van muren en ramen aan, zoals je ze ook zult zien met bijvoorbeeld een warmtebeeld camera. Wil je deze waarde echt met een warmtebeeld camera vergelijken of wil je bewoners laten zien hoeveel koudestraling van een slechte ruit afkomt, dan moet je de binnen- en buitentemperatuur in cellen C23 en C24 op iets realistischere waarden instellen. Voor het berekenen van de temperaturen worden de volgende formules gebruikt (Rsi en Rse zijn de forfaitaire overgangsweerstanden uit het bouwbesluit)

$$T_{\text{muurbuiten}} = T_{\text{buiten}} + (T_{\text{binnen}} - T_{\text{buiten}}) * R_{\text{se}} / R_{\text{c}}$$

$$T_{\text{muurbinnen}} = T_{\text{binnen}} - (T_{\text{binnen}} - T_{\text{buiten}}) * R_{\text{si}} / R_{\text{c}}$$

Rechts het blauwe hok geeft het (maximaal) vermogen (in Watt) dat dit bouwelement vereist bij deze omstandigheden. Deze rij wordt onderaan gesommeerd. Wil je het benodigd vermogen van een verwarmingsinstallatie bepalen, dan moet je de buitentemperatuur op -10 graden Celsius instellen en de binnentemperatuur op 20 of 21 graden Celsius.

$$\text{Vermogen} = (T_{\text{binnen}} - T_{\text{buiten}}) * \text{Oppervlakte} / R_{\text{c}}$$

Ten slotte het grijze veld rechts geeft de jaarlijkse hoeveel gas die door dit bouwelement wordt verstoekt. Wil je echt het echte verbruik vergelijken met deze berekening, dan moet de graaddagen berekenen (zie verderop) over exact dezelfde periode als waarover je het echte gasverbruik kent. Temperaturen zijn hierbij niet van belang, want die worden vervat in de graaddagen.

$$\text{Gasverbruik} = 24 * \text{Graaddagen} * \text{Oppervlakte} / (R_{\text{c}} * \text{GasEnergie})$$

24 is het aantal uren in een dag, GasEnergie (8500) komt van de calorische waarde van het gas en het ketelrendement (zie verderop).

Ruimte onder het huis

Momenteel is de ruimte onder het huis vast gedefinieerd als matig geventileerde kruipruimte.

28	BouwJaar	1988
29	Dak	2.0
30	Muur	2.0
31	Vloer	1.3

Rc	1.3
m2	49
T	17.2
	-9.3

808
213

De berekening is een simplificatie die in veel gevallen redelijk zal opgaan: de echte Rc-waarde wordt met 40% verhoogd om het warmteverlies en de oppervlakte temperaturen te berekenen.

Bovenverdieping

Voor de bovenverdieping moet de oppervlakte van het glas apart worden ingevuld.

Als er op de bovenverdieping niet (direct) gestookt wordt, moet je het veld C10 leeglaten. Het rekenblad berekent dan welke temperatuur er op de bovenverdieping zal heersen: cel D10.

Het is goed om zich te realiseren dat de betonnen vloeren van huizen thermisch zo lek zijn als een mandje en dus nagenoeg iedereen de bovenverdieping direct of indirect stookt.

Stook je "een beetje" op de bovenverdieping, vul dan in cel C10 de actuele temperatuur in (dus bijv een graad of 5 lager dan de benedenverdieping).

8		
9	Onverwarmd als niet ingevuld	
10	Tbinnen	5.7
11		
12	Glas [m2]	10
13		
14		
15		
16		
17		

Rc	0.4
m2	10
T	0.0
	-8.2

439
116

Rc	2.0
m2	60
T	4.6
	-9.7

470
124

De formules om het gasverbruik te berekenen zijn voor de bovenverdieping afwijkend, immers we kunnen niet het aantal graaddagen gebruiken dat voor de begane grond geldt.

Allereerst is E25 een hulpveld dat de verhouding tussen Gasverbruik en Vermogen bepaald

$$E25 = \text{Gasverbruik_Muur_Begane_Grond} / \text{Vermogen_Muur_Begane_Grond} = \text{Gasverbruik_1} / P_1$$

Vervolgens kunnen we deze verhouding gebruiken om het gasverbruik op bovenverdieping te bepalen:

$$\text{Gasverbruik} = E25 * \text{Vermogen}$$

Dak

Momenteel wordt alleen een schuin dak ondersteunt. De nok van het dak loopt evenwijdig aan de "Diepte" van het huis. De breedte is dus de dimensie die je ook op het scherm ziet.

De zoldervloer wordt verondersteld niet geïsoleerd te zijn ($R_c=0.5$).

De R_c -waarde die in het gele hok wordt ingevuld is de R_c -waarde van het puntdak.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2			V0.2										
3		Uboven[W/K]	90										
4		Uplafond[W/K]	98										
5		Tboven	5.7										
6		Tzolder	0.6										
7													

De helling van het dak wordt 45 graden verondersteld. De meeste daken hebben in Nederland een wat kleinere hellingshoek. We rekenen dus wat pessimistischer dan misschien reëel, maar we moeten ons ook realiseren dat er bij een dak en bij de muur-dak aansluitingen allerlei extra lekken zijn, die we op deze manier incorporeren.

In dit geval is de R_c -waarde van het puntdak $R_c=2.0$, die van de zoldervloer $R_c=0.5$, terwijl de effectieve R_c -waarde van puntdak plus zoldervloer slechts 1.5 bedraagt (cel I4). Het is goed om te beseffen waardoor dit komt en waardoor je dus ook goed begrijpt dat het isoleren van de zoldervloer effectiever is dan het isoleren van het puntdak. Omdat de oppervlakte van het puntdak (inclusief zij-driehoeken) een stuk groter is dan de oppervlakte van de zoldervloer, zal het warmtelek relatief ook groter zijn.

In cel E20 staat de oppervlakte van het dak als functie van het woningtype:

$$E20 = \text{DakOppervlakte} = \text{WoningType} * \text{Diepte}^2 / 4 + \text{Diepte} * \text{Breedte} * 2^{0.5}$$

In cel H5 staat het oppervlakte van de zoldervloer.

Voor de berekening van het warmteverlies, gaan we de oppervlakte van het dak (E20) terugrekenen naar het oppervlakte van de zoldervloer (H5). Omdat het dak een groter oppervlakte heeft dan de zoldervloer, wordt de effectieve R_c van het dak dus evenredig met de oppervlakte verhoudingen verlaagd (een groter oppervlakte geeft meer warmteverlies)

$$Rc_Schuindak = Rc_Dak * \text{Opp_Zoldervloer} / \text{Opp_dak}$$

Daarbij dient de R_c waarde van de zoldervloer (vast ingesteld op 0.5) te worden opgeteld om de verliezen door het dak te berekenen, de resulterende R_c waarde staat in cel I4.

$$I4 = Rc_Dak_Effectief = Rc_ZolderVloer + Rc_Dak * \text{Opp_Zoldervloer} / \text{Opp_dak}$$

De temperatuur van het plafond van de bovenverdieping staat dus in cel H6.

De temperatuur van de zolder staat in cel C6.

Infiltratie: Kieren

Op basis van het bouwjaar van de woning wordt de bouwjaarcorrectiefactor voor de luchtdoorlatendheid bepaald, deze wordt vermenigvuldigd met 2 keer het vloeroppervlakte van de begane grond, teneinde de Q10 [l/s] te berekenen. Het geschatte energieverbruik wordt bepaald door de NEN7120 die een forfaitaire waarde van 1.04 m3/l/s heeft vastgesteld.

NB: de vaak gehoorde term qv_{10} is de Q10 genormeerd op het oppervlakte van de woning.

In cel D25 staat de berekende Q10 [l/s] op basis van het bouwjaar.

	A	B	C	D
21		WoningType	HoekWoning	
22		Diepte[m]	8.8	
23		Breedte[m]	5.5	
24		Oppervlakte[m2]	48.4	

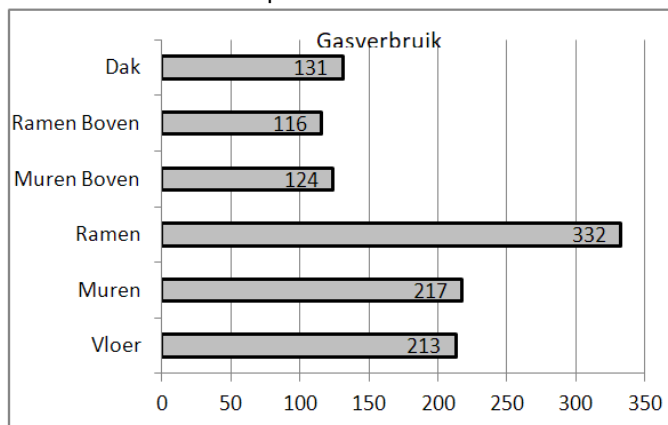
Als een echte Q10 bekend is, bijv op basis van

een blowerdoortest, dan kan deze worden ingevuld in cel C25 en overruled de waarde van D25 in de energieberekeningen, deze waarde wordt dan gebruikt als verbeter maatregel.

24	Glas [m2]	10	
25	Q10 [l/s]		194
26	Tbinnen	20	20
27	Tbuiten	0	-10
28	Graaddagen	2800	2800

Grafische weergave Gasverbruik

Rechtsboven is nog een grafische weergave van het gasverbruik per bouw element, zodat je eenvoudig kunt zien waar het meest bespaard kan worden.



We zien dat, in dit geval, het grootste warmtelek wordt veroorzaakt door de ramen op de begane grond. Als we beseffen dat hier $U_g=2.8$ en dit simpel te vervangen is door HR++ glas met dezelfde dikte en een $U_g=1.0$ (of zelfs $U_g=0.8$) dan mag het duidelijk zijn dat dit een van de meest effectieve maatregelen is.

Wat we hier ook zien is dat de som van de drie bovenste balken (dat wat weglekt door de onverwarmde ruimten) behoorlijk hoog is. Een tweede zeer effectieve maatregel is dus het isoleren van de tussenvloer, waarbij men zich vervolgens wel moet realiseren dat het een stuk kouder wordt op de bovenverdieping.

Sommatie

Onderaan staan de capaciteiten en gasverbruik van het gehele huis. Hieruit kan het benodigde vermogen avn een CV-ketel of warmtepomp worden afgeleid.

33				
34	Maximaal Vermogen	kW	m3	Jaarlijks Gasverbruik
35		4.3	1133	
36	All-Electric WarmtePomp (beta=0.8)	3.4	264	Deeltal
37		kW		
38	Hybride WarmtePomp (beta=0.4)	1.7		Gemiddelde Rc

Het "Deeltal" is het beroemde getal (variërend tussen 188 en 270), dat door veel warmtepomp installateurs en fabrikanten wordt gebruikt om op een zeer simpele manier het vermogen van een (hybride) warmtepomp in een bestaande woning te bepalen.

$$\text{Vermogen Warmtpomp [kW]} = (\text{Gasverbruik} - \text{warm_Tapwater}) / \text{Deeltal}$$

Gemiddelde Rc waarde was bedoeld voor EPC berekeningen, maar zal vermoedelijk verdwijnen en tzt vervangen worden door de BENG-eisen.

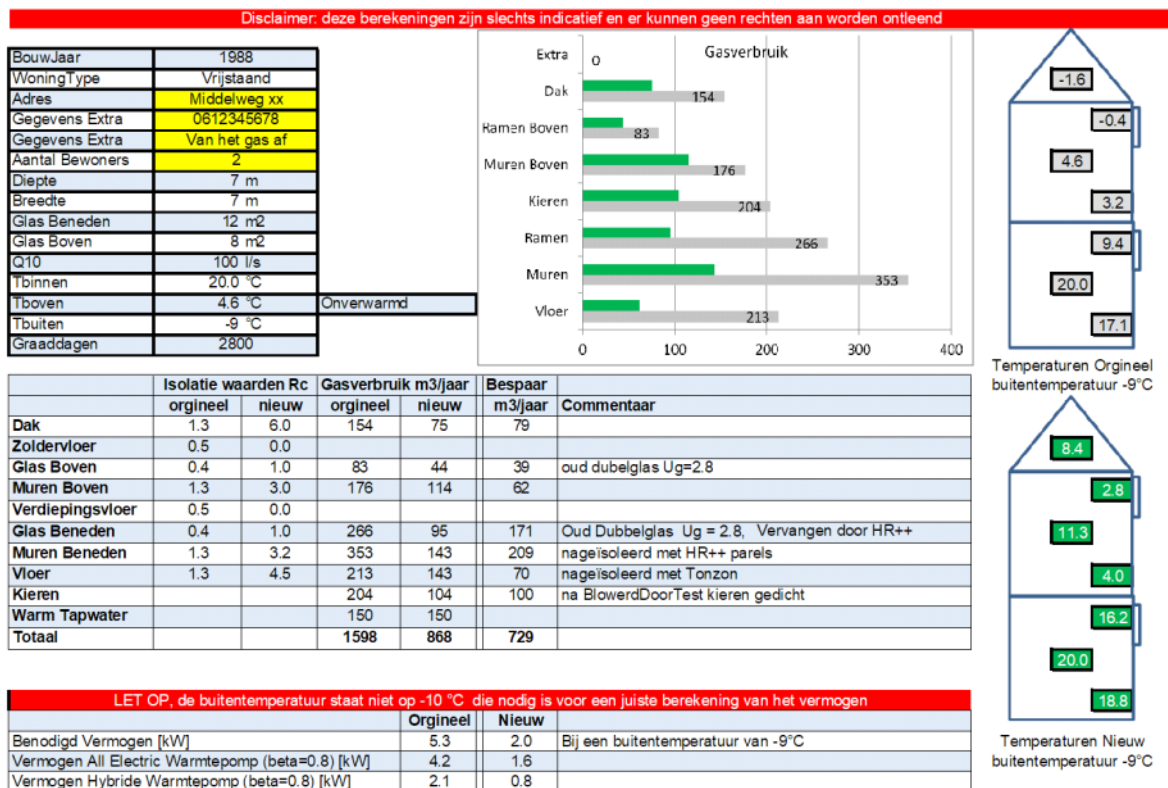
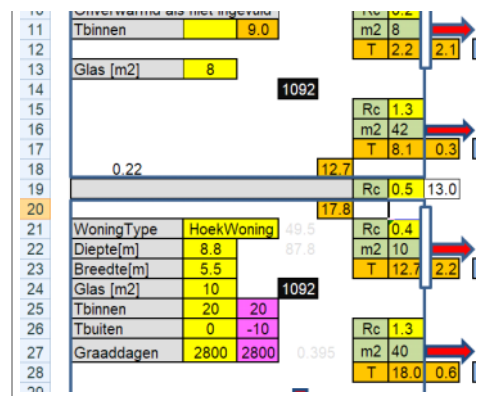
Actieve Luchtstroom

Een actieve luchtstroom tussen de verdiepingen kan worden gesimuleerd door de Rc-waarde van de tussenvloeren (normaal $R_c = 0.5$) te verlagen. De grote vraag is hoeveel die Rc-waarde dan verlaagd moet worden. Het antwoord is lastig, maar door het meten van de temperaturen op een aantal locaties moet een aardige schatting gemaakt kunnen worden. Omdat het gevoelige metingen zijn, een paar belangrijke adviezen:

1. Gebruik één en dezelfde thermometer voor alle temperaturen, bij voorkeur een infrarood thermometer of camera op een blokje piepschuim dat minstens 20 seconden in die ruimte aanwezig is (daarmee meet je echt de luchttemperatuur)
2. Meet bij een lage buitentemperatuur (bij voorkeur 0 graden Celsius of lager)
3. Zorg voor een stabiele omgeving, dus niet een omgeving die nog aan het opwarmen is (in combinatie met punt 2, s'morgens vroeg, nadat de verwarming s'nachts aan heeft gestaan)

Experimenteel is een hulpberekening (verstopt) aangebracht.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
10									



<quote>

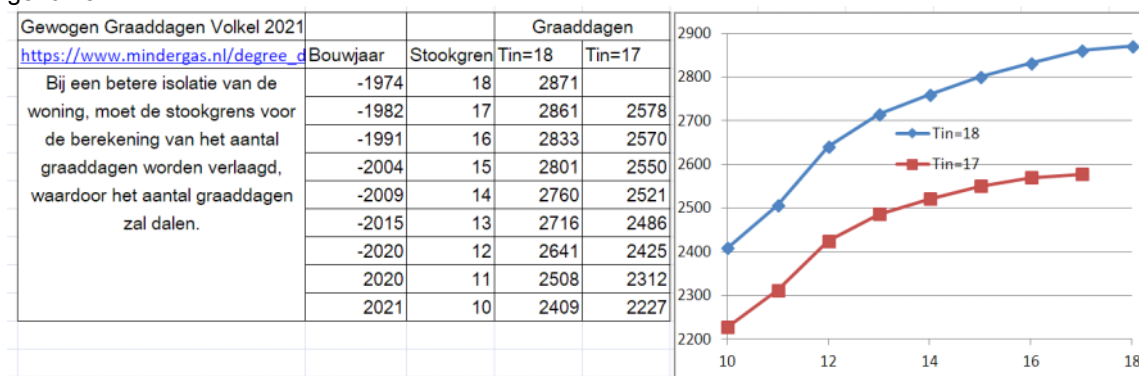
Ook is het mogelijk om de zogenaamde stookgrens in te stellen. Doordat gebouwen warmte opnemen en later weer afgeven, zal de verwarming in het voor- en najaar niet direct aangaan ondanks dat de etmaalgemiddelde buitentemperatuur lager is dan de etmaalgemiddelde binnentemperatuur. Door de stookgrens bijvoorbeeld in te stellen op 15,5 °C worden graaddagen alleen meegeteld indien de etmaalgemiddelde buitentemperatuur lager is dan deze grenswaarde. Een lagere waarde voor de stookgrens leidt tot een verhoging van het aantal m3 gas per graaddag in het voor- en najaar

Een betere isolatie aan de buitenkant van een grotere warmtecapaciteit verlaagt de stookgrens. Dus nieuwe woningen zullen in het algemeen een lagere stookgrens hebben, deze kan wel dalen tot 10 graden Celsius. Het aantal graaddagen kan daardoor wel met 15% dalen.

<end quote>

In onderstaande tabel is de stookgrens (bij een binnentemperatuur van 17 en 18 graden Celsius) als functie van de bouwjaar van het huis weergegeven. We zien dat de standaard instelling van 18 graden Celsius alleen geldt voor huizen tot 1975. Het aantal graaddagen is berekend via

https://www.mindergas.nl/degree_days_calculation, waarbij als locatie Volkel en als periode het jaar 2021 is genomen.



Gegevens zijn verkregen uit de volgende tabel (regel "Verwarmen tot buitentemp.") : https://warmtepomp-tips.nl/media/kengetallen/Rekenmodel_vollasturen_maand_warmtepomp_woning_nl_bouwjaar_v_april2021.png

Rsi-Rse

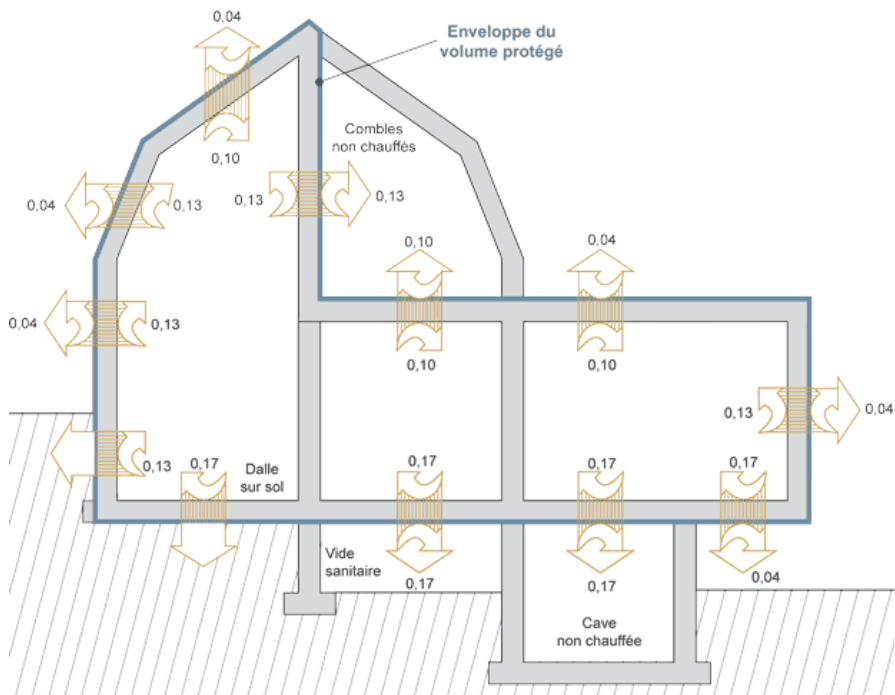
Bij de thermische overgang van een vast stof naar lucht is er een dun luchtlaagje, dat stil staat en waarover een temperatuurgradient (temperatuurverschil) ontstaat. Rekenkundig is dit te beschrijven door een overgangsweerstand.

Rsi = de overgangsweerstand aan de binnenzijde (i=interior)

Rse = de overgangsweerstand aan de buitenzijde (e=exterior)

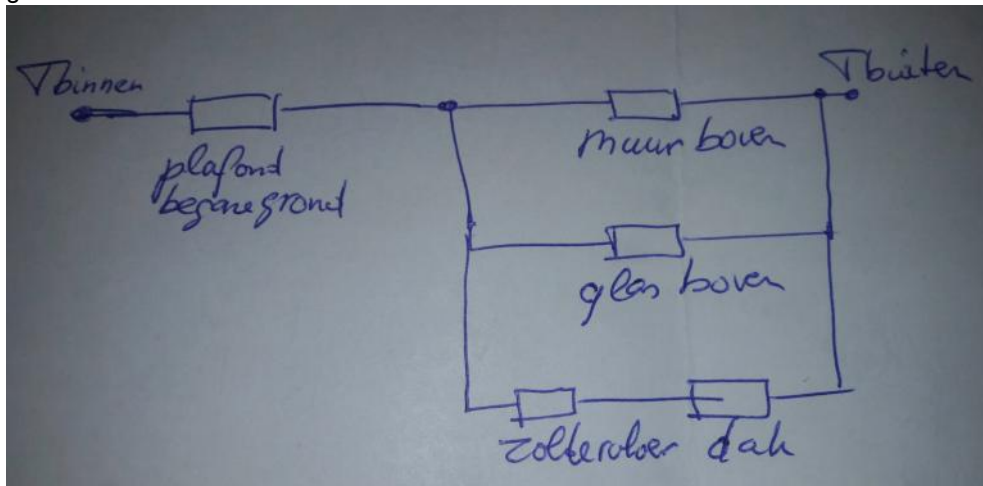
Deze weerstand is mede afhankelijk van de hoeveelheid geforceerde luchtstroming (wind) en dat verklaart waarom de Rse altijd kleiner is dan de Rsi. Dit betekent ook dat een praktische meting van de oppervlakte temperaturen wel wat kan afwijken, immers als het hard waait zal de Rse kleiner zijn dan in onderstaande figuur is weergegeven en bij windstil weer zal het omgekeerde gelden.

Ook is deze weerstand afhankelijk van de oriëntatie van het oppervlak.



Berekening Temperaturen Boven

Voor het berekenen van de temperaturen boven (als er niet gestookt wordt), is het volgende model gehanteerd.



Allereerst wordt in hulpcel C3 de oppervlakte genormeerde U-waarde van alles wat zich boven vloer van de eerste verdieping bevindt (het rechterdeel van bovenstaande tekening)

$$C3 = \text{Opp_Muur} / R_{c_Muur} + \text{Opp_Glas} / R_{c_Glas} + \text{Opp_Zolder} / R_{c_Dak_Effectief}$$

In hulpcel C4 is de oppervlakte genormeerde U-waarde van het plafond van de begane grond

$$C4 = \text{Opp_Plafond} / R_{c_Plafond}$$

Vervolgens kan de temperatuur van de bovenverdieping worden berekend:

$$T_{\text{boven}} = T_{\text{binnen}} - (T_{\text{binnen}} - T_{\text{buiten}}) * (1/C4) / (1/C4 + 1/C3)$$

En de temperatuur van de zolder, die staat in cel D3:

$$T_{\text{zolder}} = T_{\text{boven}} - (T_{\text{boven}} - T_{\text{buiten}}) * R_{\text{zolder}} / R_{\text{dak_Effectief}}$$

Versies

- 0.1 original release (1 juni 2022)
- 0.2 (10 juni 2022)
 - o Formule H31 (vloertemperatuur) was fout (140% vergeten), hierdoor was de vloertemperatuur iets te laag weergegeven
 - o Temperatuur van de zolder toegevoegd: C6
 - o Formules gesimplificeerd: 8500 uit E25 en alles wat daar van af hangt
 - o Temperatuur suggestie verhoogd naar 20 graden Celsius
 - o Dak iets scheef gezet, zodat temperatuur plafond bovenverdieping (H6) beter leesbaar wordt
 - o Invoervelden volgorde iets gewijzigd
 - o Som vermogen eenheid gewijzigd van W in kW
 - o Disclaimer toegevoegd
 - o Breedte en Diepte verwisseld
 - o Enkele voorbeelden toegevoegd
- 0.3 (16 juni 2022)
 - o Rc van plafond en zoldervloer kan worden ingesteld
 - o kWh/m2 toegevoegd (BENG-1 eis)
 - o F18 en F20, bevatten de oppervlakte temperaturen van de tussenvloer
 - o Gasverbruik in meerdere velden neergezet (witte tekst op zwarte achtergrond)
 - o Actieve luchtstroom tussen verdiepingen toegevoegd (zie voorbeeld-4)
 - o Gasverbruik door kieren wordt meegenomen op basis van bouwjaar, kan handmatig worden gecorrigeerd op basis van Q10 blowerdoor-meting
- 0.4 (17 juli 2022)
 - o Het effect van isolatiemaatregelen kan nu direct zichtbaar worden gemaakt
 - o Rc rekenblad toegevoegd (berekent sandwich constructies bestaand uit verschillende materialen)
 - o Kolom O helemaal unlocked, zodat deze gebruikt kan worden voor kladberekeningen
 - o Infiltratie was foutief aangeduid met V10, moet zijn Q10
 - o Cellen O8, O19 en O25 unlocked
 - o (intern: Rc tabel sterk versimpeld and via Vlookup)
 - o Kolom O helemaal unlocked, zodat deze gebruikt kan worden voor kladberekeningen
 - o Schatting Rc tussenvloer verplaatst van I19 naar C18 (resultaat blijft in B18)
- 0.5 ()
 - o Extra tabblad met een samenvatting van originele gegevens en genomen isolatiemaatregelen en de effecten
 - o De Rc-waarde van de verdiepingsvloer (cel19) kan nu ook worden gewijzigd
 - o Regel 36 toegevoegd, hier kan handmatig gasverbruik nu en gasverbruik na besparingsmaatregel van een uitbouw of dergelijke worden ingevuld (bijvoorbeeld berekend via een apart rekenblad)
 - o (alle formules voor de verbeteringen versimpeld)
- **ToDo**
- Ventilatie toevoegen
- Warm tapwater (+ aantal personen) toevoegen
- Graaddagen afhankelijk van binnentemperatuur begane grond

SM, juli 2022