

CHILL WP4

R4.2 Renovatiepakketten met oplopend
ambitieniveau

Wim Kornaat, Wouter Borsboom, Linda Hoes

20 maart 2026



Inleiding & doel

- Toepassing van Zeer Lage Temperatuur (ZLT)-warmtenetten vraagt ingrijpende woningzijdige aanpassingen aan installaties en gebouwschil om te kunnen voorzien in de warmtevraag voor ruimteverwarming en warm tapwater en eventueel koeling.
- Binnen CHILL Werkpakket 4 wordt de on-the-fly Renovatieverkenner tool uitgebreid voor het doorrekenen van woningzijdige maatregelen in combinatie met een ZLT-warmtenet. Het doel van deze on-the-fly Renovatieverkenner tool is om bewoners, woningcorporaties en gebouweigenaren te ondersteunen bij het maken van onderbouwde keuzes voor energierenovaties aan de hand van verschillende KPI's (energieprestatie, binnenklimaat, zomer-/wintercomfort).
- Deze deliverable geeft een overzicht van woningzijdige maatregelpakketten met oplopend ambitieniveau, die in combinatie met een ZLT-warmtenet kunnen worden toegepast. Deze maatregelpakketten zullen als voorbeeldpakketten worden toegevoegd aan de on-the-fly Renovatieverkenner tool.
- Uitgangspunt voor deze exercitie is de use case Lage Steinen in Rotterdam.
- Deze versie focust op de wintersituatie.

¹ De on-the-fly simulatietool is een open source tool die wordt ontwikkeld in opdracht van het ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening (VRO) en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) binnen het Renovatieverkenner project. Dit project betreft een samenwerking tussen de Technische Universiteit Eindhoven, TNO en De Twee Snoeken. In dit project ontwikkelt TNO het open source on-the-fly model, De Twee Snoeken de open source input Woningprofiel Plus en de TU/e het open source off-the-fly Renovatieverkenner model. Zie voor meer informatie: <https://www.tue.nl/en/research/research-groups/building-physics-and-services/building-performance/renovatieverkenner>.

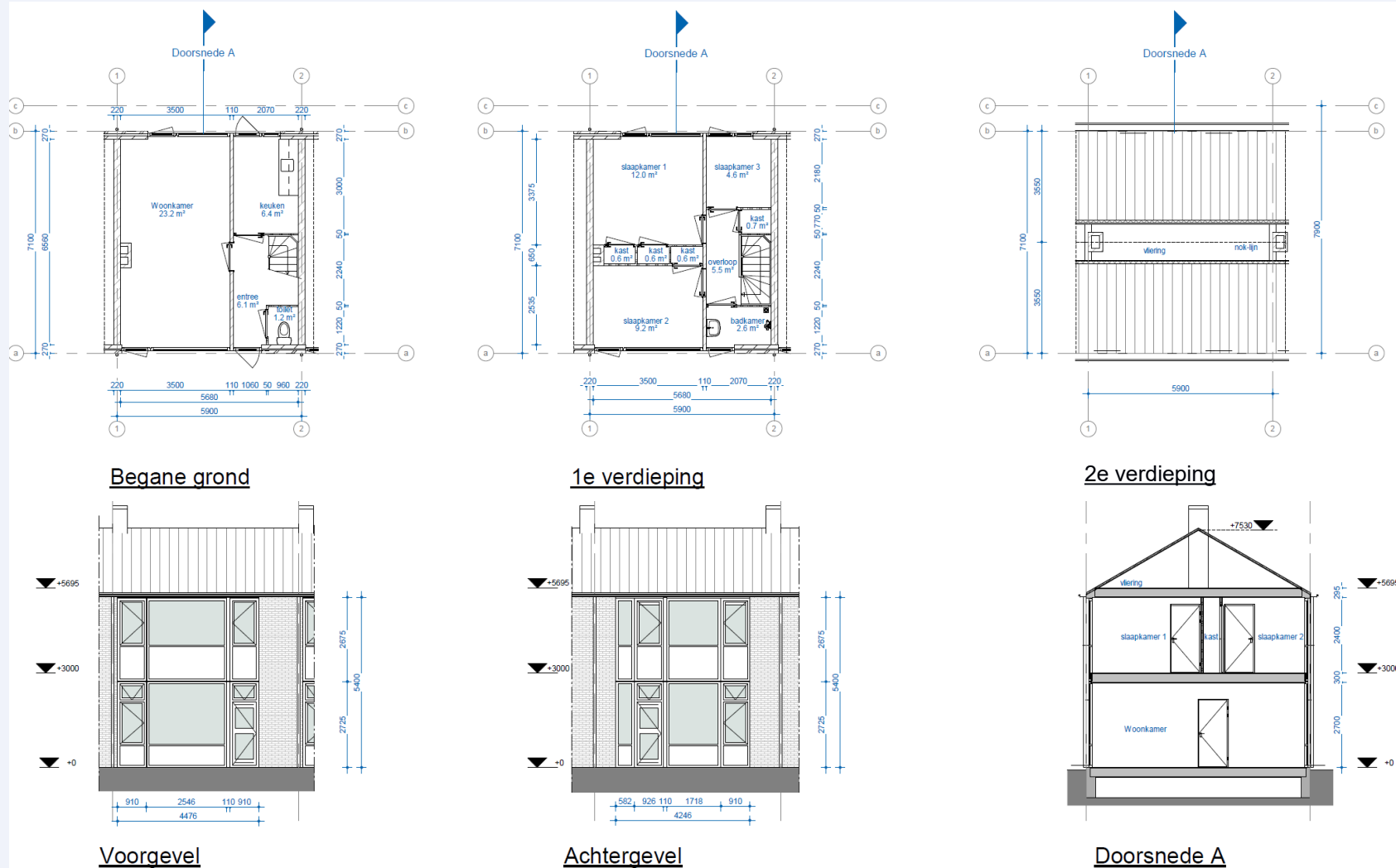
Use case Lage Steinen Rotterdam

- Gevel:
 - Metselwerk met ongeïsoleerde spouw (32%)
 - Houten kozijnen met panelen (68%)
 - Dubbelglas (dit betreft een aanname)
- Ongeïsoleerde betonnen vloeren
- Onverwarmde vliering
- Ventilatie:
 - Mechanische afzuiging
 - Klapramen
- Luchtdoorlatendheid:
 - Aanname: $q_{v,10,ka} = 3 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$
 - O.b.v. woningtype en bouwjaar (1959) volgens NTA8800

NB. deze aanname leidt tot een hoge luchtdoorlatendheid en samenhangend hoog infiltratiewarmteverlies
- Gebruiksoppervlak
 - Type K: 75 m²
 - Type G: 87 m²
- Gasverbruik 1830 tot 2567 m³/jaar



Plattegronden en aanzichten woningtype K



Plattegronden en aanzichten woningtype G



Renovatiepakketten

	Huidig	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Luchtdoorlatendheid, $q_{v,10,kar}$ (dm ³ /s.m ²)	3	0.5	3	3	3	0.5	0.5	0.5	0.5
Ventilatiesysteem (-)	C.1	C.4c	A.1/C.1	A.1/C.1	A.1/C.1	A.1/C.1	C.4c	C.4c	D.2
$R_{c,bgvloer}$ (m ² .K/W)	0.15	0.15	0.15	0.15	3.5	0.15	3.5	3.5	3.5
$R_{c,gevel,metselwerk}$ (m ² .K/W)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	1.7	1.7	3.5	3.5
$R_{c,paneel}$ (m ² .K/W)	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	1.7	1.7	3.5	3.5
$R_{c,vloer\ vliering/dak}$ (m ² .K/W)	0.15 ²	0.15	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
U_{raam} (W/m ² .K)	2.8	2.8	2.8	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
U_{deur} (W/m ² .K)	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	2	2	2

Omschrijving verschillende pakketten:

- P1 verbeterde luchtdichtheid¹ + CO₂-geregeld afzuigsysteem, type C.4c volgens NTA8800 (P1 is aanpak die nu in een aantal gevallen icm ZLT wordt gebruikt)
- P2 isoleren vloer vliering óf dak
- P3 isoleren vloer vliering óf dak + toepassen HR++ glas
- P4 isoleren vloer vliering óf dak + isoleren begane grond vloer
- P5 verbeterde luchtdichtheid¹ + isoleren vloer vliering óf dak + isoleren gevel (spouwisolatie + panelen) + toepassen HR++ glas
- P6 isoleren tot de standaard + verbeterde luchtdichtheid¹ + CO₂-geregeld afzuigsysteem
- P7 idem P6 echter volledige gevelrenovatie ($R_c=3.5$ m²K/W)
- P8 idem P7 + gebalanceerd ventilatiesysteem met warmteterugwinning, type D.2 volgens NTA8800

¹Verbeterde luchtdichtheid tot $q_{v,10,kar}=0.5$ haalbaar door volledige gevelrenovatie

²Dit betreft de R_c van de vloer van de vliering, hetgeen een ongeïsoleerde betonnen vloer betreft.

Installatiepakketten (opwekking, afgifte)

- Opwekking:
 - Water-water warmtepomp met voorraadvat voor verwarmen, koelen en warm tapwaterbereiding
- Afgifte:
 - Hergebruik bestaande radiatoren
 - Ventilator-convectoren
 - Vloerverwarming

NB. aanbrengen van vloerverwarming is ingrijpend, maar toegevoegd om verschillende scenario's te beschouwen

Installatieontwerp¹

- Verwarmingscapaciteit warmtepomp en afgiftesysteem is berekend volgens ISSO 51:2023 (schilmethode) voor de huidige situatie en de verschillende renovatiepakketten
- Afgiftesysteem bij hergebruik bestaande radiatoren:
 - Afgiftecapaciteit (W/K) én radiatordebiet (kg/s) berekend op basis van verwarmingscapaciteit voor de huidige situatie² (zie 1^e punt) én verondersteld radiatorontwerp 80°C/60°C/21°C (aanvoer/retour/vertrektemperatuur)
 - Dus één afgiftecapaciteit voor alle renovatiepakketten
- Afgiftesysteem bij gebruik ventilator-convectoren:
 - Afgiftecapaciteit (W/K) bepaald uitgaande van temperatuurlift warmtepomp van maximaal 30 á 35°C
NB: vooralsnog is uitgegaan van eenzelfde afgiftecapaciteit voor alle renovatiepakketten
- Vloerverwarming:
 - Beschouwd op zowel begane grond als 1^e verdieping³
 - Uitvoering: Leidingen gefreesd in bestaande vloerconstructie (opwarmtijd groter 2 uur)
 - Berekend volgens ISSO 49:2004

¹ Het gaat hier om indicatieve ontwerpberekeningen om effecten van keuzes inzichtelijk te maken.

² Berekening volgens ISSO 51:2023 geeft naar verwachting enige onderschatting van de geïnstalleerde capaciteit van de radiatoren zoals destijds berekend en samenhangend overschatting van de benodigde aanvoertemperaturen (zie sheet 10).

³ Vloerverwarming op de 1^e verdieping is minder gebruikelijk. Op basis van de resultaten kan een mix met bijvoorbeeld ventilator-convectoren op de 1^e verdieping worden beschouwd.

Efficiëntie installatie in de woning (warmtepomp)

- Uitgangspunt: COP= 5.9 bij B10/W35 (brontemperatuur/watertemperatuur oftewel temperatuurlift 25°C).
NB. Dit is haalbaar volgens de specificaties van meerdere warmtepompen op basis van metingen volgens EN 14511.
- Het theoretische carnot-rendement is dan 12.3 (Thoog[K]/(Thoog[K]-Tlaag[K])) én het quotiënt COP/carnot-rendement = 0.479.
NB. Deze verhouding geeft aan in hoeverre het werkelijke rendement verschilt van het theoretisch maximaal haalbare carnot-rendement.
- Per renovatiepakket én afgiftesysteem is de temperatuurlift van de warmtepomp bepaald o.b.v. :
 - de gemiddelde temperatuur in het afgiftesysteem (Thoog), berekend aan de hand van de gevraagde verwarmingscapaciteit (zie 1^e punt vorige sheet) én de beschikbare afgiftecapaciteit, voor
 - twee temperaturen van het ZLT-netwerk, namelijk 10 en 15°C (Tlaag)
- Vervolgens is de COP per renovatiepakket en afgiftesysteem als volgt bepaald:
 - $COP = \text{carnot-rendement} * 0.479$
NB. Bij een temperatuurlift kleiner dan 25°C is de constante 0.479 vervangen door de formule $-4.845 \cdot 10^{-4} \cdot DT^2 + 3.0 \cdot 10^{-2} \cdot DT + 2.888 \cdot 10^{-2}$ met $DT = \text{temperatuurlift}$. Deze functie is afgeleid uit laboratoriummetingen aan een warmtepomp en voorkomt een overschatting van de COP-waarde.
- Op basis van de COP is berekend:
 - Het elektrisch opgenomen vermogen door de warmtepomp bij ontwerp verwarmingscapaciteit
 - Het warmtevermogen onttrokken aan het ZLT netwerk bij ontwerp verwarmingscapaciteit

Kentallen installatie bij hergebruik radiatoren

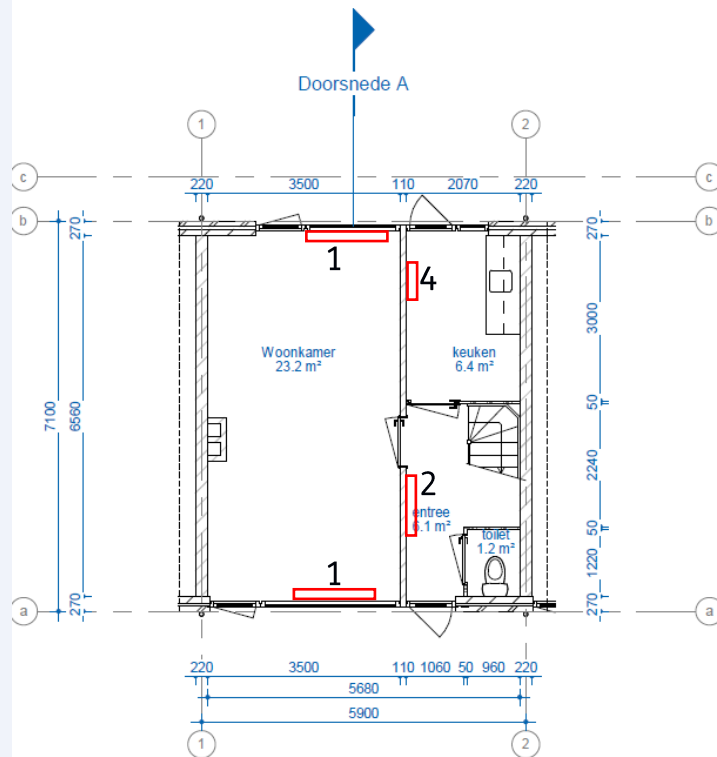
	Huidig	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
$P_{\text{ontwerp_verwarming}}$ (kW) ¹	16.5	12.8	12.9	11.7	10.0	6.1	4.2	3.9	3.9
T_{aanvoer} (°C)	80	70 ³	70 ³	66.5 ³	61.5	49.5	43.5	42.5	42.5
T_{retour} (°C)	60	54	54	52	49	41.5	37.5	36.5	36.5
Tzlt=10°C									
Temperatuurlift (K)	-	52	52	49	45	35.5	30.5	29.5	29.5
COP-waarde ² (-)	-	3.1	3.1	3.2	3.5	4.3	4.9	5.1	5.1
$P_{\text{elektrisch}}$ (kW)	-	4.1	4.2	3.6	2.9	1.4	0.8	0.8	0.8
$P_{\text{zlt-netwerk}}$ (kW)	-	8.7	8.7	8.1	7.1	4.7	3.4	3.1	3.1
Tzlt=15°C									
Temperatuurlift (K)	-	47	47	44	40	30.5	25.5	24.5	24.5
COP-waarde ² (-)	-	3.4	3.3	3.5	3.8	4.9	5.8	6.0	6.0
$P_{\text{elektrisch}}$ (kW)	-	3.8	3.9	3.3	2.6	1.2	0.7	0.6	0.6
$P_{\text{zlt-netwerk}}$ (kW)	-	9.0	9.0	8.4	7.4	4.9	3.5	3.3	3.3

¹ Dit geldt voor tussenwoning type G, die iets groter is dan woningtype K.

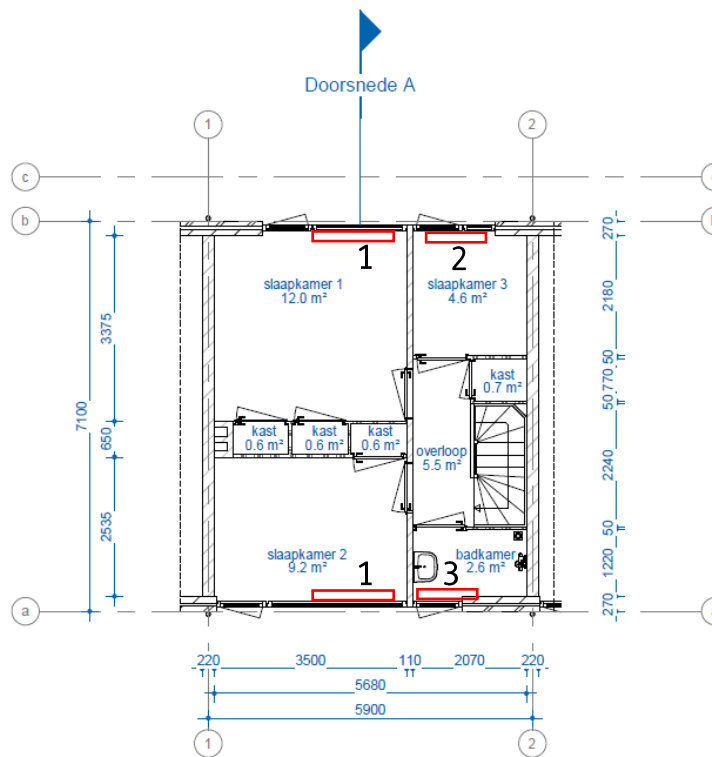
² Effect hulpenergie pompen en ZLT netwerk nog nader bepalen (deels beschouwd in meting volgens EN 14511). COP betreft ontwerp situatie, niet seizoensafhankelijke COP.

³ Hoge aanvoertemperaturen naar radiatoren voor warmtepomp. In praktijk mogelijk lager door grotere overcapaciteit in radiatoren als verondersteld.

Ontwerp ventilator-convectoren



Begane grond



1e verdieping

Briza 12
hoogte 55 cm
diepte 14 cm

Positie	Lengte(cm)
1	145
2	125
3	95
4	75

- Afgiftecapaciteit 17.3kW
- Bij 55/45/20°

Kentallen installatie bij ventilator-convectoren

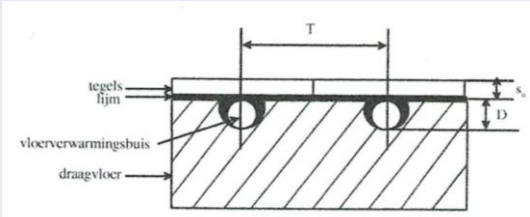
	Huidig	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
$P_{\text{ontwerp_verwarming}}$ (kW) ¹	16.5	12.8	12.9	11.7	10.0	6.1	4.2	3.9	3.9
T_{aanvoer} (°C)	-	48.5	49	46.5	43	36	32	31.5	29
T_{retour} (°C)	-	40.5	41	39	37	32	29	29	26
Tzlt=10°C									
Temperatuurlift (K)	-	34.5	35	32.5	30	24	20.5 ³	20 ³	17.5 ³
COP-waarde ² (-)	-	4.4	4.4	4.6	5.0	6.0	6.5	6.6	7.0
$P_{\text{elektrisch}}$ (kW)	-	2.9	2.9	2.5	2.0	1.0	0.6	0.6	0.6
$P_{\text{zlt-netwerk}}$ (kW)	-	9.9	10.0	9.2	8.0	5.1	3.6	3.3	3.3
Tzlt=15°C									
Temperatuurlift (K)	-	29.5	30	27.5	25	19 ³	15.5 ³	15 ³	12.5 ³
COP-waarde ² (-)	-	5.1	5.0	5.4	5.9	6.9	7.4	7.4	7.9
$P_{\text{elektrisch}}$ (kW)	-	2.5	2.6	2.2	1.7	0.9	0.6	0.5	0.5
$P_{\text{zlt-netwerk}}$ (kW)	-	10.3	10.3	9.5	8.3	5.2	3.6	3.4	3.4

¹ Dit geldt voor woningtype G, die iets groter is dan woningtype K.

² Effect hulpenergie pompen en ZLT netwerk nog nader bepalen (deels beschouwd in meting volgens EN 14511). COP betreft ontwerpsituatie, niet seizoensafhankelijke COP.

³ Gezien lage temperatuurlift vanuit economisch oogpunt beter om ventilator-convectoren met kleinere capaciteit (en afmetingen) te gebruiken.

Ontwerp vloerverwarming (ISSO 49:2004)

	gefreesd systeem
selectiediagram/specificatieblad ISSO 49	II.4-31
vloerafwerking: R_b [$\text{m}^2\text{K/W}$]	0.1 ¹
afstand buizen [cm]	10
diameter buizen [mm]	16
isolatie onder buizen:	
dikte [mm]	n.v.t.
warmteweerstand [W/mK]	n.v.t.
	

¹ Aanbevolen waarde in ISSO 49.

Kentallen installatie gefreesde vloerverwarming

	Huidig	P1	P2	P3	P4	P5 ^{4,5}	P6 ⁵	P7 ⁵	P8 ⁵			
P _{ontwerp_verwarming} (kW) ¹	16.5	12.8	12.9	11.7	10.0	4.6	4.3 ³	4.0 ³	4.0 ³			
T _{aanvoer} (°C)	-	Capaciteit vloerverwarming onvoldoende				36.5	35.5	35.5	35.5			
T _{retour} (°C)	-					31.5	30.5	30.5	30.5			

¹ Dit geldt voor woningtype G, die iets groter is dan woningtype K.

² Effect hulpenergie pompen en ZLT netwerk nog nader bepalen (deels beschouwd in meting volgens EN 14511). COP betreft ontwerpsituatie, niet seizoensafhankelijke COP.

³ Vermogens iets hoger dan bij radiatoren/ventilator-convectoren door verhoogd verlies door begane grondvloer als gevolg van vloerverwarming. Geldt niet voor P5 omdat bij P5 met radiatoren/ventilator-convectoren begane grondvloer niet geïsoleerd is, maar bij gebruik van vloerverwarming wel (zie tevens opm 4).

⁴ Begane grondvloer altijd isoleren bij vloerverwarming.

⁵ Warmtestroom door vloerverwarming 1^e verdieping naar begane grond levert 10% extra verwarming, hiervoor is het ontwerp niet gecorrigeerd. Dit geeft enige overdimensionering van het verwarmingsvermogen.

Bevindingen

- Vanaf pakket 5 (isolatiestandaard zonder vloerisolatie) én hoger geldt voor deze use-case dat:
 - warmtepomp met 230V aansluiting toegepast kan worden
NB: Volgens de specificaties vraagt een groot aantal warmtepompen met vermogen groter dan 5 á 7kW een 400V aansluiting.
 - vloerverwarming toegepast kan worden
- Minder isolatie leidt tot:
 - een afname van de COP door de hogere afgiftetemperaturen
(i.g.v. hergebruik bestaande radiatoren: van 5.1 naar 3.1 bij $T_{zlt}=10^{\circ}\text{C}$ en van 6 naar 3.3 bij $T_{zlt}=15^{\circ}\text{C}$)
 - een toename van het opgenomen elektrisch vermogen
(i.g.v. hergebruik bestaande radiatoren: van 0.8 naar 4.2 kW bij $T_{zlt}=10^{\circ}\text{C}$ en van 0.6 naar 3.9 kW bij $T_{zlt}=15^{\circ}\text{C}$)
 - een toename van het opgenomen warmtevermogen uit het ZLT-netwerk
(i.g.v. hergebruik bestaande radiatoren: van 3.1 naar 8.7 kW bij $T_{zlt}=10^{\circ}\text{C}$ en van 3.3 naar 9 kW bij $T_{zlt}=15^{\circ}\text{C}$)

Bevindingen

- Nieuw ontwerp met ventilator-convectoren:
 - afgiftecapaciteit kan verhoogd worden met als gevolg lagere temperatuurlift warmtepomp en hogere efficiëntie
 - COP varieert van 4.4 tot 7.9

NB: Bij een temperatuurlift $< 25^{\circ}\text{C}$ en samenhangend (in dit geval) een $\text{COP} > 6$ wordt uit kostenoverwegingen aanbevolen minder capaciteit aan ventilator-convectoren toe te passen.
- Nieuw ontwerp met gefreesd vloerverwarmingssysteem bij pakketten 5 t/m 8:
 - COP-waarden van 6 tot 7

NB: hoge COP's zijn met name het gevolg van lage watertemperaturen waarbij in combinatie met een kleine afstand tussen de buizen ongeacht de hoge ligging van de buizen in de vloer een gelijkmatige vloertemperatuur bereikt kan worden.
- Vloerverwarming en met name ventilator-convectoren bieden betere mogelijkheden voor koeling.