



Business Park E.T.V.
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7500 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93

F 055 549 32 01

info@mep.tno.nl

TNO-rapport

R 2001/549

Hot-spots in tapwaterleidingen

Datum	november 2001
Auteurs	Hans van Wolferen Sietze van der Sluis
Projectnummer	32688
Trefwoorden	- tapwaterleidingen - hot spots - BERTIX
Bestemd voor	VNI t.a.v. de heer W.J.H. Scheffer Postbus 7272 2701 AG Zoetermeer

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2001 TNO

Samenvatting

In opdracht van de VNI is een aantal berekeningen uitgevoerd voor het vaststellen van aanvullende richtlijnen in verband met hot-spots in tapwaterleidingen. Hierbij is deels voortgebouwd op berekeningen die reeds eerder in opdracht van Novem zijn uitgevoerd t.b.v. de Handleiding Legionella preventie van ISSO. [1].

In dit rapport worden resultaten van de thermische simulaties van watervoerende leidingen in een wand of vloer beschreven die zijn uitgevoerd met het BERTIX rekenmodel van TNO-MEP. Op basis van de resultaten zijn criteria opgesteld om hot-spots in koudwaterleidingen te vermijden. Ter wille van de volledigheid zijn de resultaten van de eerder uitgevoerde berekeningen eveneens in deze rapportage opgenomen.

Daarnaast is een model opgesteld om de temperatuur van een koudwaterleiding in een schacht met andere, warme leidingen te berekenen. Hiermee is voor een beperkt aantal configuraties een berekening uitgevoerd.

Voor de ongeïsoleerde leidingen in wanden of vloeren worden de volgende minimumafstanden tussen warme en koude leidingen aanbevolen.

Ontwerp-/toetsingscriteria voor de aanleg van koudwaterleidingen in een wand of vloer.

Type constructie	Type warme leiding	Maximum / ontwerp-temperatuur (°C)	Minimum afstand tussen warme leiding en koudwaterleiding (mm)
Wand – gips	Warmtapwater / CV-aanvoerleiding	60	75
Wand – gips	CV-aanvoerleiding	80	125
Wand – beton	Warmtapwater / CV-aanvoerleiding	60	200
Vloer	CV-aanvoerleiding	90	200
Vloer	Warmtapwater / CV-aanvoerleiding / vloerverwarming ¹	60	150
Vloer	Vloerverwarming ¹	50	125
Vloer zonder tussenisolatie onder warme leidingen	Warmtapwater / CV-aanvoerleiding / vloerverwarming	50-90	Geen koude leidingen onder warme leidingen toegestaan
Vloer met tussenisolatie onder warme leidingen	Warmtapwater / CV-aanvoerleiding / vloerverwarming	50-90	Koude leidingen onder tussenisolatie toegestaan

¹ Hierbij dient de koudwaterleiding aan de buitenzijde van het vloerverwarmingssysteem te liggen en niet aan twee zijden te zijn ingesloten.

N.B. De minimum afstand voor leidingen in een betonnen wand ligt hoger dan de eis die nu genoemd wordt in ISSO 55.1, bijlage 7, eerste configuratie, waar nu 100 mm voor alle wanden wordt aangehouden.

Om ongewenste opwarming van een koudwaterleiding in een schacht te voorkomen worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Om ongewenste opwarming van koudwaterleidingen te vermijden wordt montage in een schacht met warme cv- en/of tapwaterleidingen ontraden.
- Een afzonderlijke schacht voor koudwaterleidingen of een dubbele schacht met een goed isolerend tussenschot biedt betere mogelijkheden om de temperatuur beneden 25°C te houden bij langdurige intervals tussen tappingen.
- In alle gevallen dienen warme circulatieleidingen zeer goed te worden geïsoleerd; ook bij de T-stukken e.d.
- Als de resulterende temperatuur (incidenteel) te hoog is kunnen de volgende oplossingen worden overwogen:
 - Ventilatie van de schacht (natuurlijk of mechanisch thermostaatgestuurd); deze oplossing werkt alleen bij niet al te hoge schachten en verhoogt het warmteverlies van de warme leidingen.
 - Spuiklep in de koudwaterleiding (thermostaatgestuurd); deze oplossing kan tot een aanzienlijk waterverlies leiden, afhankelijk van de regelmaat waarmee hoge temperaturen optreden.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
Inhoudsopgave	4
1. Inleiding	5
2. Leidingen in een wand of vloer	6
2.1 Inleiding.....	6
2.2 Basisconfiguraties	6
2.3 Varianten en materiaalgegevens	9
2.4 Modelleren in BERTIX	13
2.5 Resultaten	15
2.6 Conclusies en aanbevelingen	19
3. Leidingen in een schacht	22
3.1 Inleiding.....	22
3.2 Model leidingschacht	22
3.2.1 Schacht zonder tussenschot zonder ventilatie.	23
3.2.2 Schacht met tussenschot zonder ventilatie.	23
3.3 Invoergegevens	24
3.4 Resultaten	25
3.5 Conclusies en aanbevelingen.	27
4. Conclusies en aanbevelingen.....	28
5. Referentie	30
6. Verantwoording	31
 Bijlage 1 Temperatuurverloop in de koudwaterleiding in de wand of vloer	
Bijlage 2 Temperatuurverdeling in wand of vloer	
Bijlage 3 U-waarden wanden	
Bijlage 4 U-waarde en diameter leidingen	

1. Inleiding

In opdracht van de VNI is een aantal berekeningen uitgevoerd voor het vaststellen van aanvullende richtlijnen in verband met hot-spots in tapwaterleidingen. Hierbij is deels voortgebouwd op berekeningen die reeds eerder in opdracht van Novem zijn uitgevoerd t.b.v. de Handleiding Legionella preventie van ISSO. [1].

In dit rapport worden resultaten van de thermische simulaties van watervoerende leidingen in een wand of vloer beschreven die zijn uitgevoerd met het BERTIX rekenmodel van TNO-MEP. Op basis van de resultaten zijn criteria opgesteld om hot-spots in koudwaterleidingen te vermijden. Ter wille van de volledigheid zijn de resultaten van de eerder uitgevoerde berekeningen eveneens in deze rapportage opgenomen.

Daarnaast is een model opgesteld om de temperatuur van een koudwaterleiding in een schacht met andere, warme leidingen te berekenen. Hiermee is voor een beperkt aantal configuraties een berekening uitgevoerd.

2. Leidingen in een wand of vloer

2.1 Inleiding

In toenemende mate worden cv- en tapwaterleidingen weggewerkt in wanden of vloeren. Hierdoor kan ongewenste opwarming van koud water in tapwaterleidingen optreden, waardoor o.a. de kans op aanwezigheid en groei van *Legionella* toeneemt. Om dit te voorkomen zijn richtlijnen gewenst die minimum afstanden geven tussen warme en koude leidingen, waarbij deze ongewenste opwarming tot aanvaardbare waarden beperkt blijft.

Om tot dergelijke richtlijnen te komen is kennis van de optredende temperaturen vereist. Voor zowel wanden als vloeren zijn voor een aantal uiteenlopende configuraties de optredende temperaturen berekend.

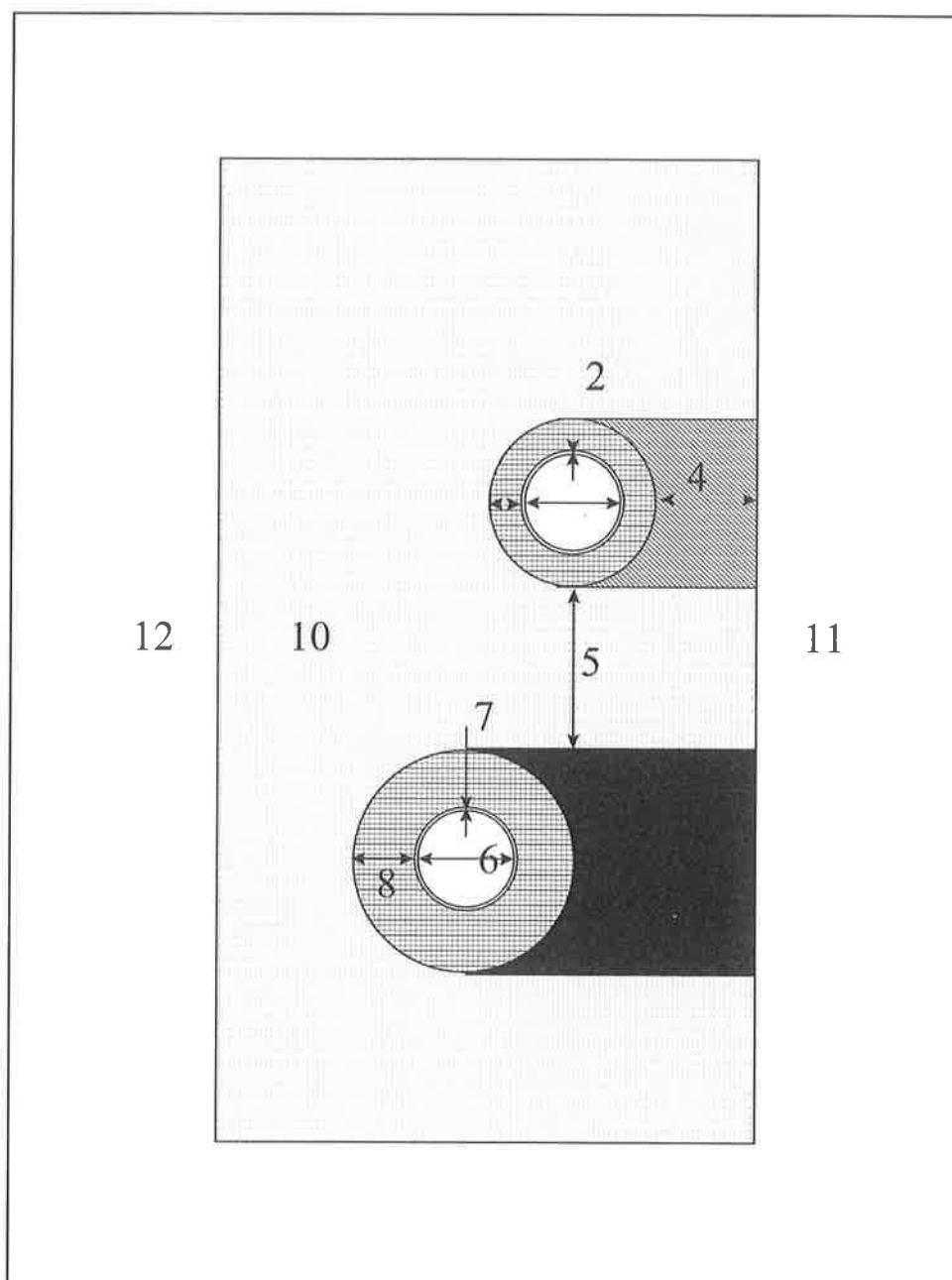
Hieronder worden achtereenvolgens behandeld: de basisconfiguraties, de varianten en materiaalgegevens, de modellering in BERTIX, de resultaten en de conclusies en aanbevelingen.

2.2 Basisconfiguraties

In figuur 1 wordt de basisconfiguratie van de leidingen in een wand gegeven. De uitgangspunten hierbij zijn:

- de leidingen lopen parallel in de muur;
- er is geen stroming in de leidingen;
- een 2-D benadering volstaat,
- alle onderdelen kunnen van eigen, uniforme, constante stofconstanten worden voorzien,
- naar wens kan een aantal temperaturen (b.v. de beide luchttemperaturen en één van de watertemperaturen) op een constante waarde naar keuze worden ingesteld;
- de andere temperaturen worden in de tijd berekend totdat een stabiele eindsituatie is bereikt.

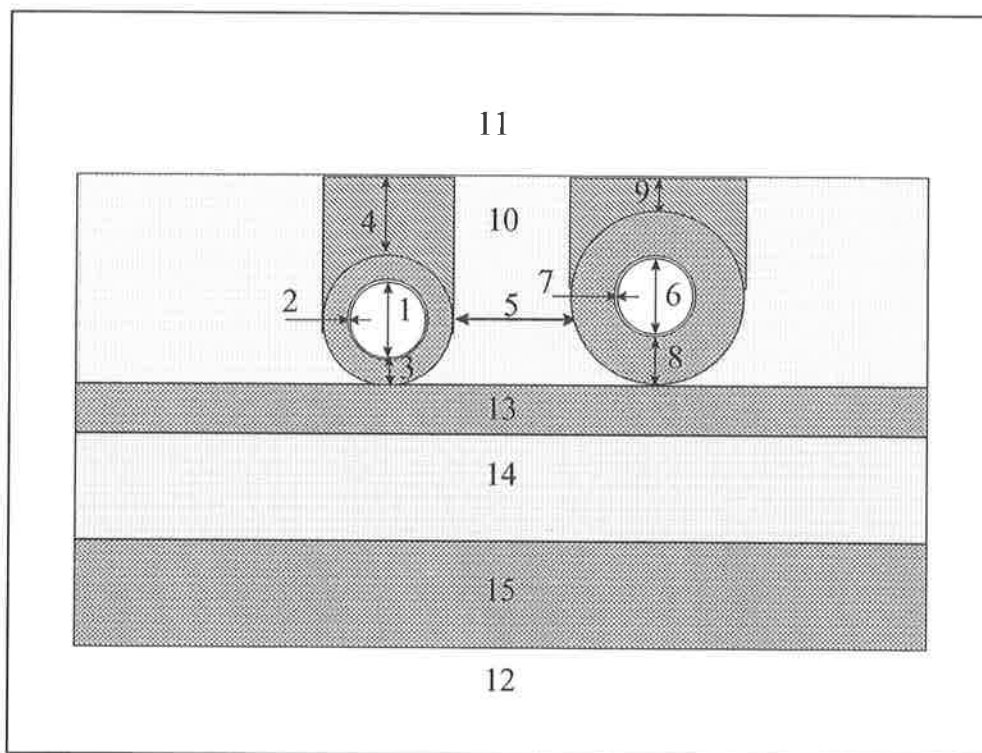
In plaats van isolatie kan ook een mantelbuis worden toegepast, waarbij een soort luchtsouw ontstaat. Deze mantel kan strak sluiten om de buis of wat ruimer vallen, waarbij de buis op onvoorspelbare punten contact maakt met de mantel. Dit is lastig te modelleren. Omdat in de modellering de buis in sectoren (taartpunten) wordt verdeeld kan per sector worden opgegeven of er wel/geen contact is tussen en buis en de mantel. Om een eerste indruk te krijgen van het effect van de luchtsouw kan de berekening worden uitgevoerd voor een aantal varianten met een verschillende verhouding tussen sectoren met/zonder contact. Vooral nog is alleen aan ongeïsoleerde buizen zonder mantel gerekend.



Figuur 1 Basisconfiguratie leidingen in wand.

In figuur 2 wordt de basisconfiguratie voor vloerverwarming gegeven. De uitgangspunten hierbij zijn:

- de vloer is van bovenaf opgebouwd uit:
 - cementlaag met buizen,
 - tussenisolatie,
 - dragende vloer
 - hoofdisolatie;
- de koudwaterleiding loopt parallel aan de verwarmingsbuis in de vloer;
- er is geen stroming in de leidingen;
- een 2-D benadering volstaat;
- alle onderdelen kunnen van eigen, uniforme, constante stofconstanten worden voorzien;
- naar wens kan een aantal temperaturen (b.v. de beide luchttemperaturen en één van de watertemperaturen) op een constante waarde naar keuze worden ingesteld;
- de andere temperaturen worden in de tijd berekend totdat een stabiele eindsituatie is bereikt.



Figuur 2 Basisconfiguratie vloerverwarming.

2.3 Varianten en materiaalgegevens

Voor de wand- en omgevingscondities worden twee varianten toegepast.

Tabel 1 Wand en omgevingsgegevens.

Variant	3. ww mantel / isolatie	8. kw mantel / isolatie	10. muur	11. temperatuur buitenzijde "voor" [°C]	12. temperatuur buitenzijde "achter" [°C]
Referentie gips	geen	geen	gipsblokken, 7 cm dik	20; $\alpha_c = 8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	20; $\alpha_c = 8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
Variant beton	geen	geen	beton, 20 cm dik	20; $\alpha_c = 8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	20; $\alpha_c = 8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Hieronder worden de referentie en varianten voor de leidingen in een wand gegeven.

Tabel 2 Referentie en varianten voor de leidingen in een wand.

Nr. / Variant	1 warm water temp.	2 ww buis	4 ww diepte & vulsel	5 afstand [mm]	7 kw buis	9 kw diepte & vulsel	10/11/12 muur en lucht-temp.
1. gips, A=10	60	15/13, koper	10 mm, cement	100	15/13, koper	10 mm, cement	ref
2. A=8.5 cm	60	15/13, koper	10 mm, cement	85	15/13, koper	10 mm, cement	ref
3. Referentie gips, A=5	60	15/13, koper	10 mm, cement	50	15/13, koper	10 mm, cement	ref
4. A=2 cm	60	15/13, koper	10 mm, cement	20	15/13, koper	10 mm, cement	ref
5. A=0 cm	60	15/13, koper	10 mm, cement	0	15/13, koper	10 mm, cement	ref
6. A=5 cm, Dw=22/20	60	22/19.8, koper	10 mm, cement	50	15/13, koper	10 mm, cement	ref
7. A=2 cm, Dw=22/20	60	22/19.8, koper	10 mm, cement	20	15/13, koper	10 mm, cement	ref
8. A=5 cm, diep 2 cm	60	15/13, koper	20 mm, cement	50	15/13, koper	20 mm, cement	ref
9. A=5 cm, Tw=80°C	80	15/13, koper	10 mm, cement	50	15/13, koper	10 mm, cement	ref
10. A=5 cm, Tw=40°C	40	15/13, koper	10 mm, cement	50	15/13, koper	10 mm, cement	ref
11. Beton, A=5 cm	60	15/13, koper	10 mm, cement	50	15/13, koper	10 mm, cement	variant beton
12. Beton, A=2 cm	60	15/13, koper	10 mm, cement	20	15/13, koper	10 mm, cement	variant beton

Voor de configuratie vloerverwarming worden de volgende vloer- en omgevingsgegevens gebruikt.

Tabel 3 Vloer- en omgevingsgegevens.

Variant	3. ww mantel / isolatie	8. kw mantel / isolatie	10. cement-laag	11. temperatuur "boven" [°C]	12. temperatuur "onder" [°C]	13. tussen-isolatie	14. dragende vloer	15. hoofd-isolatie
Vloeverwarming	geen	geen	cement 5 cm dik	20; $\alpha_c =$ 9 W/m ² .K	10; $\alpha_c =$ 8 W/m ² .K	isolatie 2 cm dik	betonvloer 15 cm dik	isolatie 12 cm dik
Vloerverw. Variant 1, zonder tussen-isolatie	geen	geen	cement 5 cm dik	20; $\alpha_c =$ 9 W/m ² .K	10; $\alpha_c =$ 8 W/m ² .K	vervalt.	betonvloer 17 cm dik	isolatie 12 cm dik
Vloerverw. Variant 2 tussenvloer zonder isolatie	geen	geen	cement 5 cm dik	20; $\alpha_c =$ 9 W/m ² .K	10; $\alpha_c =$ 8 W/m ² .K	vervalt.	beton- vloer 17 cm dik	vervalt.

Hieronder worden de referentie en varianten voor de leidingen in een vloer gegeven.

Tabel 4 Referentie- en varianten voor de leidingen in een vloer.

Nr. / Variant	1 warm water temp.	2 ww buis	4 ww diepte & vulsel	5 afstand [mm]	7 kw buis	9 kw diepte & vulsel	10/11/12 muur en lucht- temp.
13. Referentie	60	15/13, koper	35 mm, cement	100	15/13, koper	35 mm, cement	Vloerverwarming
14. A=5 cm	60	15/13, koper	35 mm, cement	50	15/13, koper	35 mm, cement	Vloerverwarming
15. A=2 cm	60	15/13, koper	35 mm, cement	20	15/13, koper	35 mm, cement	Vloerverwarming
16. Tw=50°C, A=5 cm	50	15/13, koper	35 mm, cement	50	15/13, koper	35 mm, cement	Vloerverwarming
17. Tw=50°C, A=10 cm	50	15/13, koper	35 mm, cement	100	15/13, koper	35 mm, cement	Vloerverwarming
18. Tw=90°C, A=10 cm	90	15/13, koper	35 mm, cement	100	15/13, koper	35 mm, cement	Leiding in vloer
19. Tw=90°C, A=15 cm	90	15/13, koper	35 mm, cement	150	15/13, koper	35 mm, cement	Leiding in vloer
20. Tw=90°C, A=20 cm	90	15/13, koper	35 mm, cement	200	15/13, koper	35 mm, cement	Leiding in vloer
21. Tw=90°C, A=20 cm	90	15/13, koper	35 mm, cement	200	15/13, koper	35 mm, cement	Leiding in vloer / variant 1
22. Tw=90°C, A=20 cm	90	15/13, koper	35 mm, cement	200	15/13, koper	35 mm, cement	Leiding in vloer / variant 2
23. Tw=50°C, A=20 cm	50	15/13, koper	35 mm, cement	200	15/13, koper	35 mm, cement	Leiding in vloer / variant 1
24. Tw=50°C, A=20 cm	50	15/13, koper	35 mm, cement	200	15/13, koper	35 mm, cement	Leiding in vloer / variant 2

De laatste vijf varianten (18-22) betreffen de simulatie van een koudwaterleiding in de buurt van een cv-leiding op 90°C (ontwerptemperatuur).

De gebruikte materiaalgegevens zijn gegeven in tabel 5.

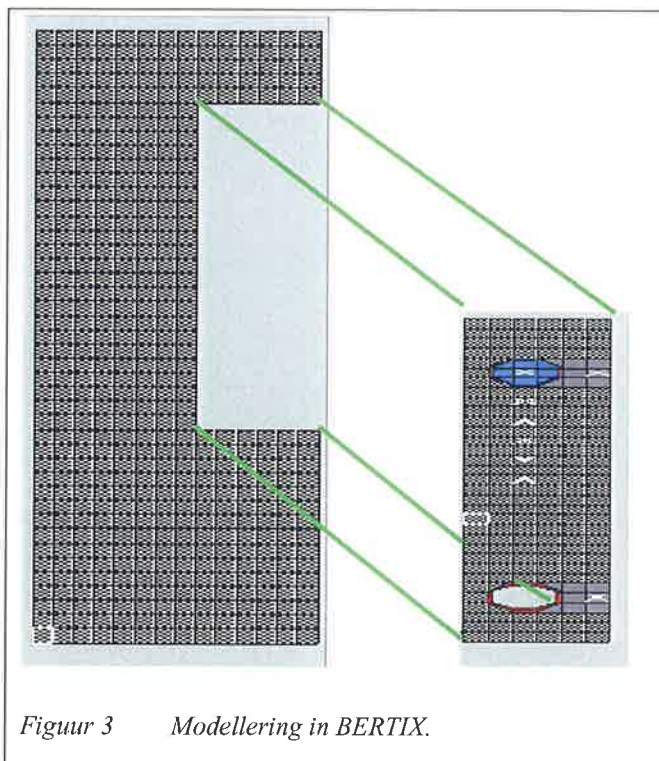
Tabel 5 Materiaalgegevens.

Materiaal	Soortelijke massa [kg/m³]	Soortelijke warmte [J/kg.K]	Geleiding [W/mK]	Bron gegevens
gips (blokken)	1000	840	0,35	ISSO 6 [2]
beton (verdicht, gewapend)	2500	840	1,9	ISSO 6
cement (pleister)	1900	840	0,95	ISSO 6
koper	9000	390	370	ISSO 6

2.4 Modellerings in BERTIX

Het BERTIX rekenmodel is een eindige elementen model, dat (onder andere) de temperatuurverdeling in een object kan berekenen als functie van de tijd. Als invoer voor een berekening is informatie nodig omtrent het object en de tijdsafhankelijke randvoorwaarden (starttemperatuur en omgevingscondities als functie van de tijd). De gebruikte programma versie is "BERTIX 2.41 FAST"

Het object in deze studie is een deel van een wand, waarin een koudwater en een warmwater leiding zijn opgenomen. Slechts een deel van de wand is (3D) gemodelleerd, het betreft een deel van de wand met een dikte gelijk aan de reële wanddikte, een lengte (evenwijdig aan de leidingen) van 10 centimeter en een hoogte (c.q. breedte) die ruim voldoende is om de beide buizen te bevatten (zie figuur 3).



Figuur 3 Modellerings in BERTIX.

Het model, vrijwel identiek aan de referentie situatie maar met een afstand tussen de buizen van 5 cm in plaats van 10 cm, is hierboven afgebeeld (wand 7 cm gips).

Het model is voornamelijk opgebouwd uit "elementen" met een aanzicht van 5 mm * 5 mm (gips). De buizen hebben een 15 mm doorsnede, met een wanddikte van 1 mm (koper). De ruimte tussen de buizen en de rechter wand is opgevuld met cement.

In de koudwater buis bevindt zich water met een starttemperatuur van 10 °C. De warmwaterbuis is “leeg” getekend; hier wordt als randvoorwaarde de warmwater temperatuur opgelegd (bijvoorbeeld 60 °C).

De markeringen geven de “meetpunten” weer.

In de referentie wordt verondersteld dat er goed contact is tussen de verschillende onderdelen, d.w.z. dat er geen extra warmteweerstanden zijn tussen de koperen leidingen en de gipsblokken en tussen de koperen leidingen en het cement waarmee de leidingen zijn weggewerkt in de wand. Het water in de koude buis is stilstaand verondersteld (warmte overdracht via geleiding, geen convectie).

De gebruikte randvoorwaarden in de berekeningen zijn in eerste instantie een omgevingstemperatuur van 20 °C en 60% relatieve vochtigheid ($\alpha_u = 8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$), en een warmwater temperatuur van 60 °C ($\alpha_i = 250 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$). Deze conditie wordt gedurende 8 uur continu gehandhaafd (er is dan een stabiele temperatuurverdeling in de wand ontstaan), waarna de water temperatuur in de “warme buis” wordt teruggebracht naar 10 °C.

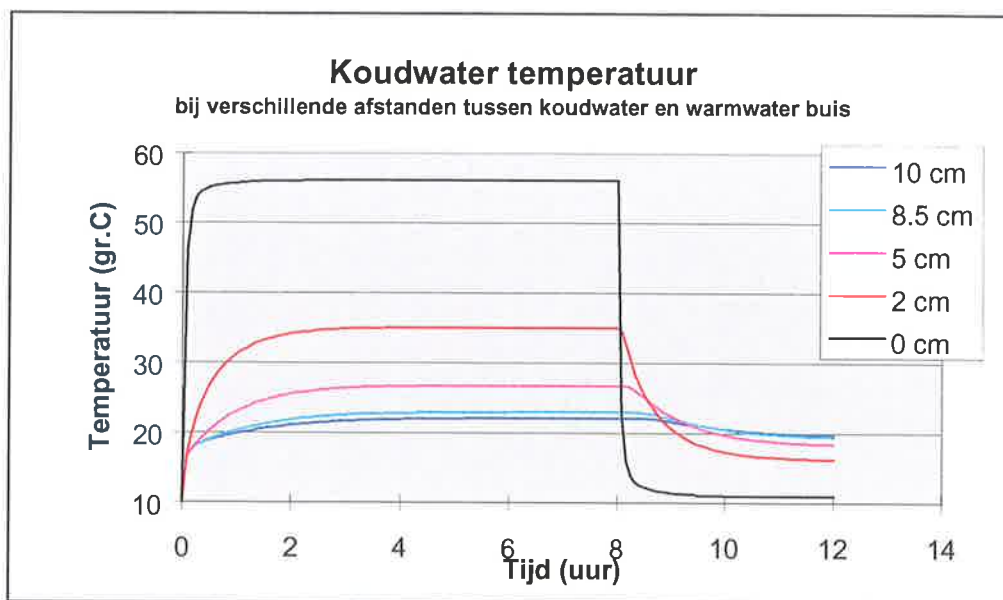
De basisconfiguratie vloerverwarming is op soortgelijke wijze gemodelleerd.

2.5 Resultaten

De resultaten van de dynamische berekeningen worden op drie manieren gepresenteerd:

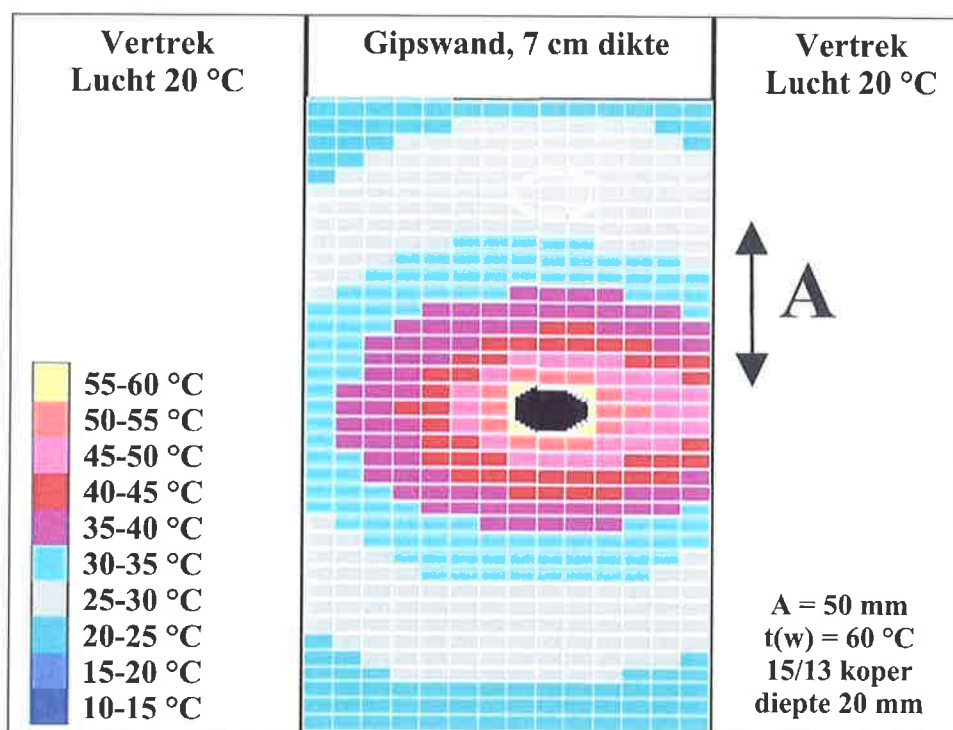
- In grafieken wordt het verloop van de temperatuur in de koudwaterleiding getoond. Hiermee wordt de snelheid van opwarming en de eindtemperatuur gegeven. Deze resultaten zijn opgenomen in bijlage 1. Een voorbeeld is gegeven in figuur 4.
- In tabelvorm worden de eindtemperaturen van de koudwaterleidingen gegeven.
- In een grafische presentatie met isothermen worden de temperaturen in de gehele wand of vloer in de stationaire eindsituatie gegeven. Hiermee wordt de temperatuurverdeling in de wand of vloer gegeven. Deze resultaten zijn opgenomen in bijlage 2. Voorbeelden zijn gegeven in figuur 5 en 6.

De eerste berekeningen zijn uitgevoerd in de referentie situatie, en enkele varianten daarop met geringere afstanden tussen de koud- en warmwater leidingen. De temperatuur in de koudwater leiding als functie van de tijd is afgebeeld in figuur 4.

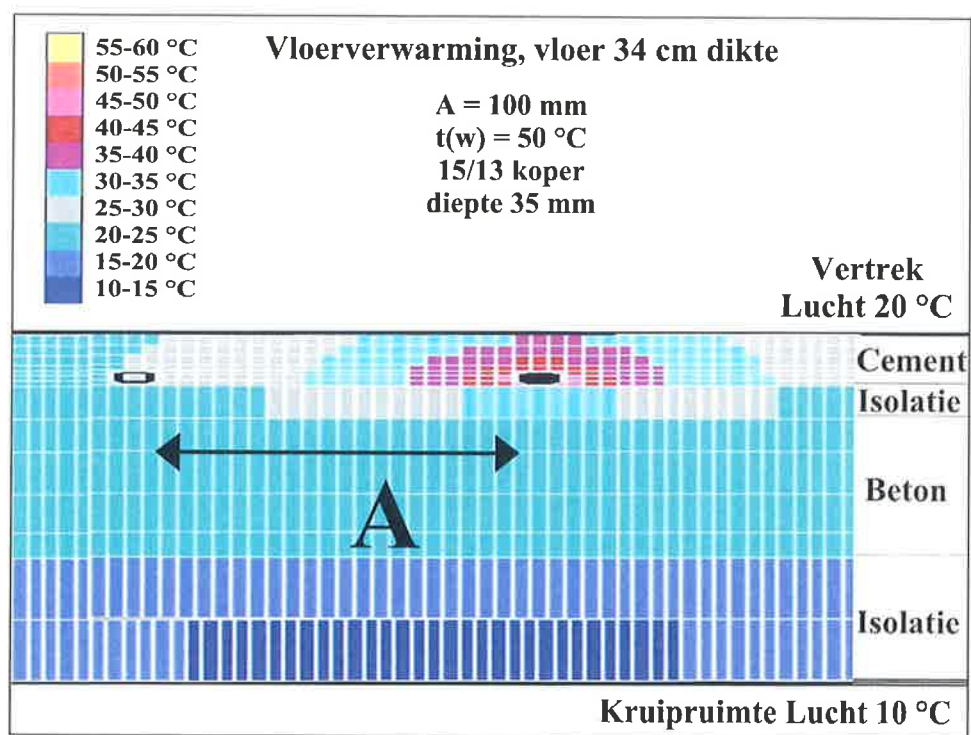


Figuur 4 Koudwater temperatuur in referentiewand (gips) bij verschillende buisafstanden.

Uit deze figuur blijkt dat de stabiele eindtemperatuur reeds binnen twee uur is bereikt. Deze uitkomst blijkt voor alle configuraties in gipswanden te gelden. In betonwanden blijkt de opwarming na acht uur nog niet geheel te zijn voltooid. Bij leidingen in vloeren blijkt na 2 tot 4 uur de eindwaarde (bij benadering) te zijn bereikt. Zie ter illustratie bijlage 1.



Figuur 5 Temperaturen in gipswand, variant 8.



Figuur 6 Temperaturen in begane grondvloer met tussenisolatie onder vloerverwarming, variant 17.

In onderstaande tabel 6 wordt een overzicht van de eindtemperaturen in de koudwaterleiding in de wand gegeven.

Tabel 6 Overzicht van de eindtemperaturen in de koudwaterleiding in een wand.

Nr. / Variant	1 warm water temp.	2 ww buis	4 ww diepte & vulsel	5 afstand [mm]	7 kw buis	9 kw diepte & vulsel	10/11/12 muur en lucht-temp.	Eindtemperatuur koudwater [°C]
1. gips A=10 cm	60	15/13, koper	10 mm, cement	100	15/13, koper	10 mm, cement	ref	22.1
2. A=8.5 cm	60	15/13, koper	10 mm, cement	85	15/13, koper	10 mm, cement	ref	23.0
3. Referentie A=5 cm	60	15/13, koper	10 mm, cement	50	15/13, koper	10 mm, cement	ref	26.8
4. A=2 cm	60	15/13, koper	10 mm, cement	20	15/13, koper	10 mm, cement	ref	35.1
5. A=0 cm	60	15/13, koper	10 mm, cement	0	15/13, koper	10 mm, cement	ref	56.1
6. A=5 cm, Dw=22/20	60	22/19.8, koper	10 mm, cement	50	15/13, koper	10 mm, cement	ref	28.1
7. A=2 cm, Dw=22/20	60	22/19.8, koper	10 mm, cement	20	15/13, koper	10 mm, cement	ref	36.0
8. A=5 cm, diep 2 cm	60	15/13, koper	20 mm, cement	50	15/13, koper	20 mm, cement	ref	27.7
9. A=5 cm, Tw=80°C	80	15/13, koper	10 mm, cement	50	15/13, koper	10 mm, cement	ref	30.2
10. A=5 cm, Tw=40°C	40	15/13, koper	10 mm, cement	50	15/13, koper	10 mm, cement	ref	23.4
11. Beton, A=5 cm	60	15/13, koper	10 mm, cement	50	15/13, koper	10 mm, cement	variant beton	34.5
12. Beton, A=2 cm	60	15/13, koper	10 mm, cement	20	15/13, koper	10 mm, cement	variant beton	40.6

N.B: de waarden voor de varianten 11 en 12 in Beton (5 cm en 2 cm buisafstand) zijn gecorrigeerd t.o.v. de rapportage aan de ISSO contactgroep (memo Hlp15.doc), resulterend in aanzienlijk hogere eindtemperaturen voor het koude water.

In onderstaande tabel 7 wordt een overzicht van de eindtemperaturen in de koudwaterleiding in de vloer gegeven.

Tabel 7 Overzicht van de eindtemperaturen in de koudwaterleiding in de vloer.

Variant	warm water temp.	ww buis	ww diepte & vulsel	afstand [mm]	kw buis	kw diepte & vulsel	muur en lucht-temp.	Eindtemperatuur koudwater [°C]
13. Referentie	60	15/13, koper	35 mm, cement	100	15/13, koper	35 mm, cement	Vloerverwarming	25<T<30
14. A=5 cm	60	15/13, koper	35 mm, cement	50	15/13, koper	35 mm, cement	Vloerverwarming	34,0
15. A=2 cm	60	15/13, koper	35 mm, cement	20	15/13, koper	35 mm, cement	Vloerverwarming	41,9
16. Tw=50°C, A=5 cm	50	15/13, koper	35 mm, cement	50	15/13, koper	35 mm, cement	Vloerverwarming	30,5
17. Tw=50°C, A=10 cm	50	15/13, koper	35 mm, cement	100	15/13, koper	35 mm, cement	Vloerverwarming	25,3
18. Tw=90°C, A=10 cm	90	15/13, koper	35 mm, cement	100	15/13, koper	35 mm, cement	Leiding in vloer	32,3
19. Tw=90°C, A=15 cm	90	15/13, koper	35 mm, cement	150	15/13, koper	35 mm, cement	Leiding in vloer	25,9
20. Tw=90°C, A=20 cm	90	15/13, koper	35 mm, cement	200	15/13, koper	35 mm, cement	Leiding in vloer	21,4
21. Tw=90°C, A=20 cm	90	15/13, koper	35 mm, cement	200	15/13, koper	35 mm, cement	Leiding in vloer / variant 1	20+
22. Tw=90°C, A=20 cm	90	15/13, koper	35 mm, cement	200	15/13, koper	35 mm, cement	Leiding in vloer / variant 2	20+
23. Tw=50°C, A=20 cm	50	15/13, koper	35 mm, cement	200	15/13, koper	35 mm, cement	Vloerverw./ variant 1	21,6
24. Tw=50°C, A=20 cm	50	15/13, koper	35 mm, cement	200	15/13, koper	35 mm, cement	Vloerverw./ variant 2	20,5

2.6 Conclusies en aanbevelingen

Uit de resultaten blijkt het volgende voor wandverwarming:

- In een gipswand stijgt de koudwatertemperatuur met ruim 5°C boven de ruimtetemperatuur als de heetwaterleiding op 60°C is en op 5 cm afstand ligt van de koudwaterleiding. Op kortere afstanden van de heetwaterleiding ligt deze temperatuur hoger. Deze opwarming treedt over de gehele dikte van de wand op.
- Een diepere ligging van beide buizen op 20 mm geeft een stijging met ruim 1°C t.o.v. buizen op 10 mm diepte. Een temperatuurstijging van minder dan 5°C treedt op bij een afstand van minimaal 7,5 cm.
- Dikke warmwaterleidingen (22/20 i.p.v. 15/13 mm) geven een hogere opwarming op 5 cm: 28,1°C i.p.v. 26,8°C. Een temperatuurstijging van minder dan 5°C treedt op bij een afstand van minimaal 10 cm.
- Bij een hogere warmwatertemperatuur van 80°C stijgt de koudwatertemperatuur tot 30,2°C op 5 cm afstand. Een temperatuurstijging van minder dan 5°C treedt op bij een afstand van minimaal 12,5 cm.
- Bij een lagere warmwatertemperatuur van 40°C stijgt de koudwatertemperatuur slechts tot 23,4°C op 5 cm afstand. Een temperatuurstijging van minder dan 5°C treedt op bij een afstand van minimaal 4 cm.
- In 20 cm dik beton treedt bij een verder identieke configuratie een hogere temperatuurstijging op: 34,5°C i.p.v. 26,8°C (bij 5 cm buisafstand). De figuren in bijlage 2 laten ook zien dat in beton de temperatuur over een groter gebied oploopt dan in de gipswand. Een temperatuurstijging van minder dan 5°C treedt op bij een afstand van minimaal 20 cm.

Uit de resultaten blijkt het volgende voor vloerverwarming en cv- of tapwaterleidingen in een vloer:

- Bij diep gelegen, op een isolatielaag bevestigde buizen (vloerverwarming) treedt, bij een warmwatertemperatuur van 60°C, een temperatuurstijging op tot 34,0°C bij 5 cm buisafstand en boven de 25°C bij 10 cm afstand. Een temperatuurstijging van minder dan 5°C treedt op bij een afstand van minimaal 12,5 cm.
- Bij een identieke vloerconstructie en een warmwatertemperatuur van 50°C treedt een temperatuurstijging tot 30,5°C op 5 cm en tot 25,3°C bij 10 cm buisafstand. Een temperatuurstijging van minder dan 5°C treedt op bij een afstand van minimaal 12,5 cm.
- Bij een identieke vloerconstructie en een warmwater(cv)temperatuur van 90°C treedt een temperatuurstijging tot 32,3°C op bij 10 cm buisafstand, 25,9°C bij 15 cm en 21,4°C bij 20 cm buisafstand. Een temperatuurstijging van minder dan 5°C treedt op bij een afstand van minimaal 17,5 cm.
- Bij diep gelegen, direct op een aan de onderzijde geïsoleerde betonvloer bevestigde buizen treedt, bij een warmwater(cv)temperatuur van 90°C, een temperatuurstijging op tot ruim 20°C bij 20 cm buisafstand. Een temperatuurstijging van minder dan 5°C treedt op bij een afstand van minimaal 20 cm.

- Bij diep gelegen, direct op een niet-geïsoleerde betonvloer bevestigde buizen treedt, bij een warmwater(cv)temperatuur van 90°C, een temperatuurstijging op tot ruim 20°C bij 20 cm buisafstand. Een temperatuurstijging van minder dan 5°C treedt op bij een afstand van minimaal 17,5 cm.
- Bij diep gelegen, direct op een aan de onderzijde geïsoleerde betonvloer bevestigde buizen treedt, bij een warmwatertemperatuur van 50°C, een temperatuurstijging op tot 21.6°C bij 20 cm buisafstand. Een temperatuurstijging van minder dan 5°C treedt op bij een afstand van minimaal 10 cm.
- Bij diep gelegen, direct op een niet-geïsoleerde betonvloer bevestigde buizen treedt, bij een warmwater(cv)temperatuur van 50°C, een temperatuurstijging op tot 20.5°C bij 20 cm buisafstand. Een temperatuurstijging van minder dan 5°C treedt op bij een afstand van minimaal 10 cm.
- Bij vloerverwarming of cv-leidingen die op een (tussen)isolatielaag zijn bevestigd is de temperatuurstijging in het beton, onder deze isolatielaag, minder dan 5°C.
- Bij vloerverwarming of cv-leidingen die zonder tussen-isolatielaag zijn bevestigd op een betonvloer is de temperatuurstijging in het beton, recht onder de leidingen, hoger dan 5°C.

Uit de resultaten volgen, bij een acceptabele stijging van de koudwatertemperatuur met 5°C, de volgende ontwerpregels:

- Ongeïsoleerde koudwaterleidingen dienen in een **gipswand** op minimaal 7,5 cm afstand (tussenruimte) van warmwaterleidingen of cv-aanvoerleidingen met een ontwerptemperatuur van 60°C te worden aangelegd.
- Ongeïsoleerde koudwaterleidingen dienen in een **betonwand** op minimaal 20 cm afstand (tussenruimte) van warmwaterleidingen of cv-aanvoerleidingen met een ontwerptemperatuur van 60°C te worden aangelegd.
- Ongeïsoleerde koudwaterleidingen dienen in een **gipswand** op minimaal 12,5 cm afstand (tussenruimte) van cv-aanvoerleidingen (80/60) te worden aangelegd.
- Ongeïsoleerde koudwaterleidingen dienen in een vloer met vloerverwarming op minimaal 12,5 cm afstand (tussenruimte) van de vloerverwarmingsleidingen (50/40) te worden aangelegd. Voor systemen met hogere temperaturen (60/50) is de minimum afstand 15 cm. Hierbij is er van uitgegaan dat de koudwaterleiding aan de buitenzijde van het vloerverwarmingssysteem ligt en niet aan twee zijden is ingesloten.
- Ongeïsoleerde koudwaterleidingen dienen in een vloer, met daarin tevens ongeïsoleerde cv-leidingen met ontwerptemperatuur van 90°C, op minimaal 20 cm afstand (tussenruimte) van de cv-leidingen te worden aangelegd.
- Ongeïsoleerde koudwaterleidingen mogen niet in een vloer onder de vloerverwarmings-, warmtapwater- of cv-leidingen worden aangelegd, tenzij de warme leidingen op een isolatielaag van minimaal 2 cm zijn bevestigd en de koudwaterleidingen hieronder.

Schematisch levert dit de volgende ontwerp-/toetsingscriteria op.

Tabel 8 Ontwerp-/toetsingscriteria voor de aanleg van koudwaterleidingen in een wand of vloer.

Type constructie	Type warme leiding	Maximum / ontwerp-temperatuur (°C)	Minimum afstand tussen warme leiding en koudwaterleiding (mm)
Wand – gips	Warmtapwater / CV-aanvoerleiding	60	75
Wand – gips	CV-aanvoerleiding	80	125
Wand – beton	Warmtapwater / CV-aanvoerleiding	60	200
Vloer	CV-aanvoerleiding	90	200
Vloer	Warmtapwater / CV-aanvoerleiding / vloerverwarming ¹	60	150
Vloer	Vloerverwarming ¹	50	125
Vloer zonder tussenisolatie onder warme leidingen	Warmtapwater / CV-aanvoerleiding / vloerverwarming	50-90	Geen koude leidingen onder warme leidingen toegestaan
Vloer met tussenisolatie onder warme leidingen	Warmtapwater / CV-aanvoerleiding / vloerverwarming	50-90	Koude leidingen onder tussenisolatie toegestaan

¹ Hierbij dient de koudwaterleiding aan de buitenzijde van het vloerverwarmingssysteem te liggen en niet aan twee zijden te zijn ingesloten.

N.B. De minimum afstand voor leidingen in een betonnen wand en voor cv-leidingen in een gipswand ligt hoger dan de eis die nu genoemd wordt in ISSO 55.1, bijlage 7, eerste configuratie, waar nu 100 mm voor alle wanden wordt aangehouden.

3. Leidingen in een schacht

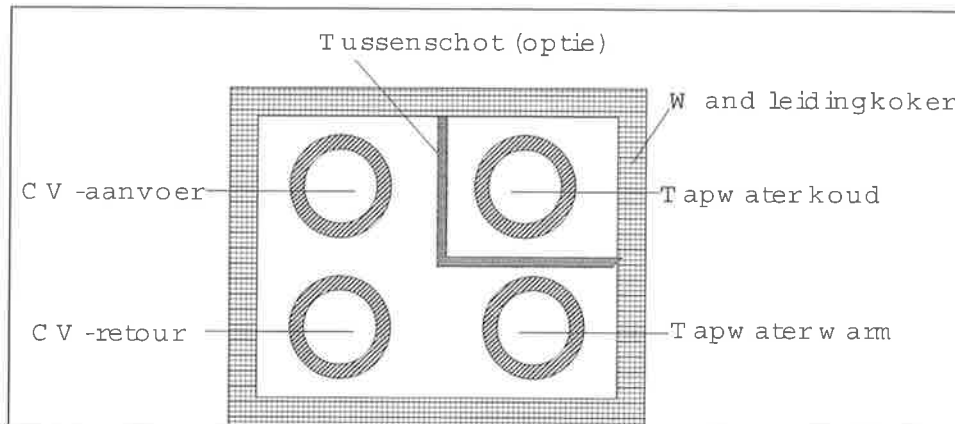
3.1 Inleiding

In woningen en gebouwen worden de verticale cv- en tapwaterleidingen meestal gezamenlijk in schachten gemonteerd. Hierdoor kan ongewenste opwarming van koud water in tapwaterleidingen optreden, waardoor o.a. de kans op aanwezigheid en groei van de *Legionella*-bacterie toeneemt. Om te beoordelen of en in welke mate opwarming kan optreden is een eenvoudig thermisch model van een dergelijke leidingschacht gewenst. Een dergelijk model kan tevens gebruikt worden om het effect van uiteenlopende maatregelen op de opwarming te beoordelen.

Hieronder worden achtereenvolgens behandeld: het model, de invoergegevens, de resultaten van enige berekeningen en de conclusies en aanbevelingen.

3.2 Model leidingschacht

Voor de berekening van de temperatuur van de koudwaterleiding in een leidingschacht met meerdere, deels warme leidingen, wordt een warmtebalans voor de schacht opgesteld. Daarmee kan het effect van diverse maatregelen (isolatie warme leidingen e.d.) worden beantwoord. Voor het model wordt uitgegaan van een schachtdoorsnede zoals geschetst in de onderstaande figuur.



In een dergelijke schacht treden de volgende thermische effecten op:

- warmtestroom van de omringende ruimten naar de schacht;
- warmtestroom van de verschillende leidingen naar de schacht;
- warmtecapaciteit van de verschillende leidingen;
- ventilatie van de schacht (natuurlijk of mechanisch).

Hieronder wordt een model ontwikkeld voor twee varianten:

- Schacht zonder tussenschot zonder ventilatie
- Schacht met tussenschot zonder ventilatie.

De resultaten van deze modellen zijn onafhankelijk van de hoogte van de schacht.

3.2.1 Schacht zonder tussenschot zonder ventilatie.

Hierbij treden de volgende thermische effecten op:

- warmtestroom van de omringende ruimten naar de schacht;
- warmtestroom van de verschillende leidingen naar de schacht.

De warmtebalans voor de schacht wordt gegeven door:

$$\sum \{ (T_{r,i} - T_s) * U_{r,i} * L_{r,i} \} + \sum \{ (T_{l,j} - T_s) * U_{l,j} * D_{uit,j} * \pi \} = 0 \quad \text{met: } i = 1-4, j = 1-4.$$

Met als parameters:

T_s	Temperatuur schacht	°C
$T_{r,i}$	Temperatuur ruimte nr. i	°C
$U_{r,i}$	Warmtedoorgangscoefficiënt ruimte i - schacht.	W/m ² .K
$L_{r,i}$	Lengte scheidingswand ruimte i – schacht	m
$T_{l,j}$	Temperatuur leiding j.	°C
$U_{l,j}$	Warmtedoorgangscoefficiënt leiding j - schacht.	W/m ² .K
$D_{uit,j}$	Uitwendige diameter leiding j, inclusief eventuele mantel en isolatie.	m

In de stationaire situatie geldt voor de koudwaterleidingen (i=4), zonder doorstroming:

$$T_{l,4} = T_s$$

Waarmee we voor T_s en $T_{l,4}$ vinden:

$$T_{l,4} = T_s = \frac{\{ \sum (T_{r,i} * U_{r,i} * L_{r,i}) + \sum (T_{l,j} * U_{l,j} * D_{uit,j} * \pi) \}}{\{ \sum (U_{r,i} * L_{r,i}) + \sum (U_{l,j} * D_{uit,j} * \pi) \}}$$

met: $i = 1-4, j = 1-3$.

3.2.2 Schacht met tussenschot zonder ventilatie.

Hierbij treden de volgende thermische effecten op:

- warmtestroom van de omringende ruimten naar de twee delen schacht;
- warmtestroom van de verschillende leidingen naar de schacht;
- warmtestroom van het warme naar het koude deel van de schacht.

De warmtebalans voor het warme deel van de schacht wordt gegeven door:

$$(T_{r,1} - T_{s,1}) * U_{r,1} * L_{r,1} + \sum \{ (T_{l,j} - T_{s,1}) * U_{l,j} * D_{uit,j} * \pi \} + (T_{s,2} - T_{s,1}) * U_s * L_s = 0$$

met: $j = 1 - 3$.

Hierbij is één (gemiddelde) temperatuur in de aangrenzende ruimten verondersteld. Deze ruimte heeft index 1. Als meerdere ruimten met verschillende temperaturen gewenst zijn dient hier een sommatie over meerdere ruimten te worden toegepast, zoals in het model zonder tussenschot.

De warmtebalans voor het koude deel van de schacht wordt gegeven door:

$$(T_{r,2} - T_{s,2}) * U_{r,2} * L_{r,2} = (T_{s,2} - T_{s,1}) * U_s * L_s = 0$$

De aangrenzende ruimte heeft index 2.

Met als parameters:

$T_{s,1}$	Temperatuur warme deel v.d. schacht	°C
$T_{s,2}$	Temperatuur koude deel v.d. schacht	°C
U_s	Warmtedoorgangscoefficiënt tussenschot schacht.	W/m ² .K
L_s	Lengte tussenschot schacht	m

Hiermee vinden we:

$$T_{l,4} = T_{s2} = (T_{r,2} * U_{r,2} * L_{r,2} + T_{s,1} * U_s * L_s) / (U_{r,2} * L_{r,2} + U_s * L_s)$$

$$T_{s1} = \{T_{r,1} * U_{r,1} * L_{r,1} + \Sigma(T_{l,j} * U_{l,j} * D_{uit,j} * \pi) + T_{r,2} * U_{r,2} * L_{r,2} * U_s * L_s / (U_{r,2} * L_{r,2} + U_s * L_s)\} / \{U_{r,1} * L_{r,1} + \Sigma(U_{l,j} * D_{uit,j} * \pi) + U_{r,2} * L_{r,2} * U_s * L_s / (U_{r,2} * L_{r,2} + U_s * L_s)\}$$

met: j = 1-3.

Beide modellen zijn in een spreadsheet geïmplementeerd.

3.3 Invoergegevens

De uitgangspunten zijn:

- een schacht met afmetingen van een halve meter in het vierkant in doorsnede;
- schachtwanden met U-waarden van 1,5, 2 en 3 W/m².K (zie bijlage 1);
- omringende ruimtetemperaturen van 20 en 25°C.

Bij toepassing van een tussenschot is dat zo geplaatst dat ¼ van de omringende wand grenst aan het koude deel van de schacht. Het tussenschot zelf heeft een lengte van ½ meter en een U-waarde van 2 W/m².K.

Voor de warme leidingen is gekozen voor een drietal leidingen: cv-aanvoer, cv-retour en warmtapwater. Voor één type leiding zijn vier isolatienivo's toegepast. Voor uiteenlopende materialen zijn de resulterende U-waarden vrijwel gelijk, met uitzondering van de kunststoffen die zonder isolatie lagere U-waarden vertonen.

De uitwendige diameter neemt toe bij oplopende isolatiewaarden. Voor de tapwater-ringleiding wordt uitgegaan van een minimum isolatienivo. Tevens is een variant zonder tapwater-ringleiding doorgerekend.

nr. Omschrijving leidingen	Gegevens leiding 1 CV-aanvoer			Gegevens leiding 2 CV-retour			Gegevens leiding 3 Warmtapwater (ringleiding)		
	TI,1 [°C]	UI,1 [W/m ² .K]	Duit,1 [m]	TI,2 [°C]	UI,2 [W/m ² .K]	Duit,2 [m]	TI,3 [°C]	UI,3 [W/m ² .K]	Duit,3 [m]
1 staal 25 mm, geen isolatie	80	7,4	0,037	60	7,4	0,037	60	5	0,054
2 staal 25, deels 1 cm iso.	80	5	0,054	60	5	0,054	60	5	0,054
3 staal 25, 1 cm iso.	80	2	0,054	60	2	0,054	60	2	0,055
4 staal 25, 2 cm iso	80	1	0,074	60	1	0,074	60	1	0,074

Hier dient te worden gewezen op de moeilijkheid om bij leidingen de warmteafgifte exact te bepalen. De hier gebruikte waarden zijn indicatief en waarschijnlijk maatgevend voor veel voorkomende situaties in flats of gebouwen van enige verdiepingen. In bijlage 2 is een aantal berekeningen van deze waarden gegeven. De hierboven gegeven getallen zijn voor de situatie zonder ventilatie in de schacht. Omdat het product van warmteafgifte en buitendiameter bepalend is voor de warmteafgifte dient de extra dikte t.g.v. de isolatie meegenomen te worden.

3.4 Resultaten

De resultaten zijn hieronder gegeven voor een enkele schacht en een schacht met tussenschot.

Met U-waarde 1,5 W/m².K

Ruimtetemperatuur[°C]		20			25		
Schachtconstructie		Enkel	Tussenschot		Enkel	Tussenschot	
nr.	Omschrijving leidingen	TI,4	Ts,1	Ts,2=TI,4	TI,4	Ts,1	Ts,2=TI,4
Met circ. leiding tapwater		[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
1	staal 25 mm, geen isolatie	41,5	42,8	33,1	44,2	45,4	36,7
2	staal 25, deels 1 cm iso.	41,4	42,7	33,0	44,1	45,2	36,6
3	staal 25, 1 cm iso.	31,8	32,8	27,3	35,5	36,4	31,5
4	staal 25, 2 cm iso	28,8	29,6	25,5	32,8	33,6	29,9
Zonder circ. leiding							
1	staal 25 mm, geen isolatie	38,2	39,6	31,2	41,4	42,6	35,1
2	staal 25, deels 1 cm iso.	38,0	39,3	31,0	41,2	42,4	34,9
3	staal 25, 1 cm iso.	29,2	30,1	25,8	33,3	34,1	30,2
4	staal 25, 2 cm iso	26,7	27,4	24,2	31,0	31,6	28,8

Met:

Tl,4 Temperatuur koudwaterleiding °C

Ts,1 Temperatuur warme deel v.d. schacht °C

Ts,2 Temperatuur koude deel v.d. schacht °C

Met U-waarde 2 W/m².K

Ruimtetemperatuur[°C]		20			25		
Schachtconstructie		Enkel	Tussenschot		Enkel	Tussenschot	
nr.	Omschrijving leidingen	Tl,4	Ts,1	Ts,2=Tl,4	Tl,4	Ts,1	Ts,2=Tl,4
Met circ. leiding tapwater		[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
1	staal 25 mm, geen isolatie	38,2	39,8	29,9	41,3	42,6	33,8
2	staal 25, deels 1 cm iso.	38,1	39,6	29,8	41,2	42,5	33,7
3	staal 25, 1 cm iso.	29,4	30,5	25,2	33,4	34,4	29,7
4	staal 25, 2 cm iso	26,9	27,7	23,9	31,2	31,9	28,5
Zonder circ. leiding							
1	staal 25 mm, geen isolatie	35,0	36,5	28,2	38,5	39,8	32,4
2	staal 25, deels 1 cm iso.	34,8	36,3	28,1	38,4	39,6	32,3
3	staal 25, 1 cm iso.	27,2	28,1	24,0	31,5	32,3	28,6
4	staal 25, 2 cm iso	25,2	25,8	22,9	29,7	30,3	27,6

Met U-waarde 3 W/m².K

Ruimtetemperatuur[°C]		20			25		
Schachtconstructie		Enkel	Tussenschot		Enkel	Tussenschot	
nr.	Omschrijving leidingen	Tl,4	Ts,1	Ts,2=Tl,4	Tl,4	Ts,1	Ts,2=Tl,4
Met circ. leiding tapwater		[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
1	staal 25 mm, geen isolatie	34,0	35,6	26,3	37,5	38,9	30,6
2	staal 25, deels 1 cm iso.	33,8	35,5	26,2	37,4	38,8	30,5
3	staal 25, 1 cm iso.	26,7	27,7	23,1	31,0	31,9	27,8
4	staal 25, 2 cm iso	24,8	25,6	22,2	29,3	30,0	27,0
Zonder circ. leiding							
1	staal 25 mm, geen isolatie	31,1	32,6	25,0	35,0	36,4	29,5
2	staal 25, deels 1 cm iso.	31,0	32,4	25,0	34,9	36,2	29,5
3	staal 25, 1 cm iso.	25,1	25,8	22,3	29,6	30,3	27,1
4	staal 25, 2 cm iso	23,6	24,2	21,7	28,2	28,8	26,5

3.5 Conclusies en aanbevelingen.

Conclusies:

- In leidingschachten met (vrijwel) ongeïsoleerde cv- en eventueel warmtapwaterleidingen en ruimtetemperaturen van 20 of 25 °C is de schacht/koudwatertemperaturen 30°C of hoger.
- Bij uiteenlopende isolatienivo's van de leidingen en ruimtetemperaturen van 20 of 25 °C kunnen temperaturen van 25°C of hoger optreden in de schacht en de koudwaterleiding. Alleen bij ruimtetemperaturen van 20°C, 2 cm. isolatie en het ontbreken van een circulatieleiding liggen deze temperaturen onder 25°C.
- De toepassing van een matig geïsoleerd tussenschot (U-waarde 2) leidt tot een lichte stijging (1°C) van de temperatuur in het warme deel van de schacht en een gevoelige daling (2 - 8°C) van de temperatuur in het koude deel van de schacht. Alleen in situaties met ruimtetemperaturen van 20°C, goede leiding-isolatie (1-2 cm), een hogere U-waarde van de schachtwanden of een ontbrekende circulatieleiding wordt een temperatuur onder 25°C bereikt. In alle andere gevallen worden temperaturen tussen 25 en 35°C bereikt; o.a. voor alle situaties met ruimtetemperaturen boven 25°C.

Aanbevelingen:

- Om ongewenste opwarming van koudwaterleidingen te vermijden wordt montage in een schacht met warme cv- en/of tapwaterleidingen ontraden.
- Een afzonderlijke schacht voor koudwaterleidingen of een dubbele schacht met een goed isolerend tussenschot biedt betere mogelijkheden om de temperatuur beneden 25°C te houden bij langdurige intervals tussen tappingsen.
- In alle gevallen dienen de warme circulatieleidingen zeer goed te worden geïsoleerd; ook bij de T-stukken e.d.
- Als de resulterende temperatuur (incidenteel) te hoog is kunnen de volgende oplossingen worden overwogen:
 - Ventilatie van de schacht (natuurlijk of mechanisch thermostaatgestuurd); deze oplossing werkt alleen bij niet al te hoge schachten en verhoogt het warmteverlies van de warme leidingen.
 - Spuiklep in de koudwaterleiding (thermostaatgestuurd); deze oplossing kan tot een aanzienlijk waterverlies leiden, afhankelijk van de regelmaat waarmee hoge temperaturen optreden.

4. Conclusies en aanbevelingen

Voor de conclusies wordt verwezen naar de vorige hoofdstukken. De aanbevelingen worden hier samengevat.

Voor de leidingen in wanden of vloeren worden de volgende minimumafstanden aanbevolen.

Tabel 9 Ontwerp-/toetsingscriteria voor de aanleg van koudwaterleidingen in een wand of vloer.

Type constructie	Type warme leiding	Maximum / ontwerp-temperatuur (°C)	Minimum afstand tussen warme leiding en koudwaterleiding (mm)
Wand – gips	Warmtapwater / CV-aanvoerleiding	60	75
Wand – gips	CV-aanvoerleiding	80	125
Wand – beton	Warmtapwater / CV-aanvoerleiding	60	200
Vloer	CV-aanvoerleiding	90	200
Vloer	Warmtapwater / CV-aanvoerleiding / vloerverwarming ¹	60	150
Vloer	Vloerverwarming ¹	50	125
Vloer zonder tussenisolatie onder warme leidingen	Warmtapwater / CV-aanvoerleiding / vloerverwarming	50-90	Geen koude leidingen onder warme leidingen toegestaan
Vloer met tussenisolatie onder warme leidingen	Warmtapwater / CV-aanvoerleiding / vloerverwarming	50-90	Koude leidingen onder tussenisolatie toegestaan

¹ Hierbij dient de koudwaterleiding aan de buitenzijde van het vloerverwarmingssysteem te liggen en niet aan twee zijden te zijn ingesloten.

N.B. De minimum afstand voor leidingen in een betonnen wand ligt hoger dan de eis die nu genoemd wordt in ISSO 55.1, bijlage 7, eerste configuratie, waar nu 100 mm voor alle wanden wordt aangehouden.

Om ongewenste opwarming van een koudwaterleiding in een schacht te voorkomen worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Om ongewenste opwarming van koudwaterleidingen te vermijden wordt montage in een schacht met warme cv- en/of tapwaterleidingen ontraden.
- Een afzonderlijke schacht voor koudwaterleidingen of een dubbele schacht met een goed isolerend tussenschot biedt betere mogelijkheden om de temperatuur beneden 25°C te houden bij langdurige intervals tussen tappingen.
- In alle gevallen dienen de warme circulatieleidingen zeer goed te worden geïsoleerd; ook bij de T-stukken e.d.

- Als de resulterende temperatuur (incidenteel) te hoog is kunnen de volgende oplossingen worden overwogen:
 - Ventilatie van de schacht (natuurlijk of mechanisch thermostaatgestuurd); deze oplossing werkt alleen bij niet al te hoge schachten en verhoogt het warmteverlies van de warme leidingen.
 - Spuiklep in de koudwaterleiding (thermostaatgestuurd); deze oplossing kan tot een aanzienlijk waterverlies leiden, afhankelijk van de regelmaat waarmee hoge temperaturen optreden.

5. Referentie

- [1] ISSO 55.1 - Handleiding Legionella preventie in leidingwater
ISSO, Rotterdam. 2000
- [2] ISSO 6 – U- en R-waarden van bouwkundige constructies, 2^e druk
ISSO, Rotterdam. 1987

6. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

VNI

t.a.v. de heer W.J.H. Scheffer

Postbus 7272

2701 AG Zoetermeer

Namen en functies van de projectmedewerkers:

Ir. J. van Wolferen projectleider

Ir. S.M. van der Sluis projectmedewerker

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

N.v.t.

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

Juni – november 2001

Ondertekening:



Ir. J. van Wolferen
projectleider

Goedgekeurd door:

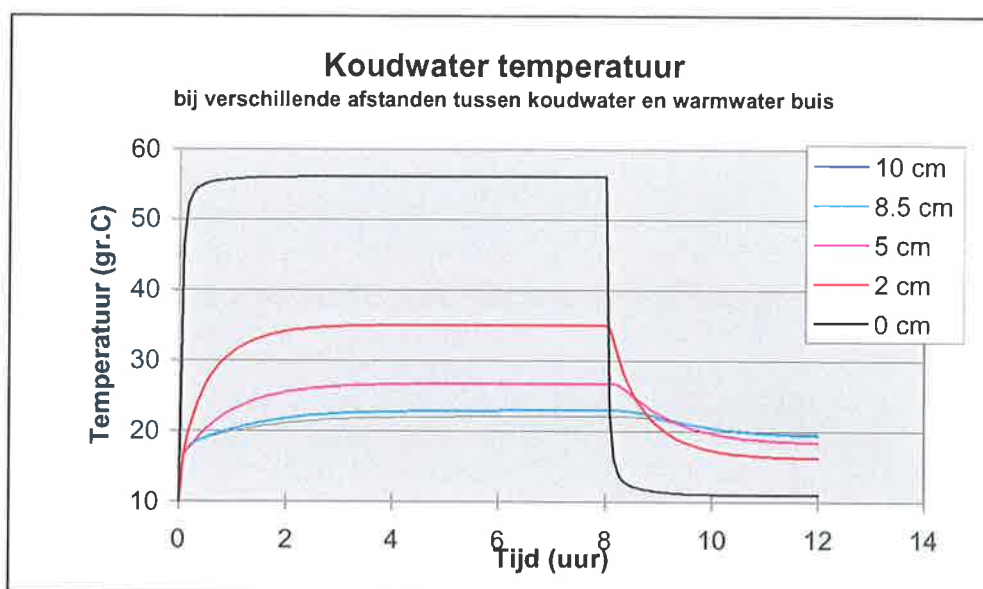


Ir. S.M. van der Sluis
afdelingshoofd

Bijlage 1 Temperatuurverloop in de koudwaterleiding in de wand of vloer

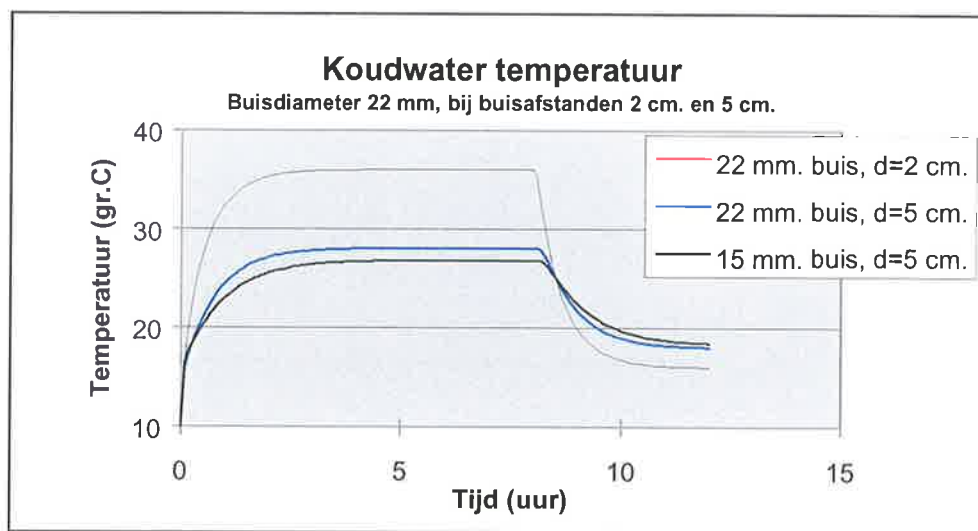
In deze bijlage wordt het temperatuurverloop in de koudwaterleiding in de wand of vloer gegeven.

De eerste berekeningen zijn uitgevoerd in de referentie situatie, en enkele varianten daarop met geringere afstanden tussen de koud- en warmwater leidingen. De belangrijkste resultaten (temperatuur in de koudwater leiding als functie van de tijd) zijn afgebeeld in figuur B1.1.



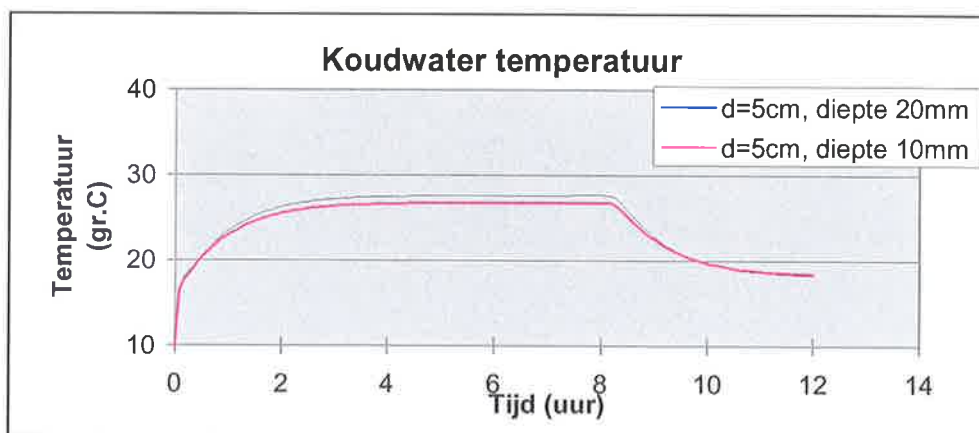
Figuur B1.1 Koudwater temperatuur in referentiewand (gips) bij verschillende buisafstanden

Een volgende set berekeningen heeft betrekking op de (referentie) wand van gipsblokken met een dikte van 7 cm, waarin gewerkt wordt met een iets grotere buisdiameter: 22 mm in plaats van 15 mm. Deze buizen zijn gelegen op een diepte van 10 mm. De resultaten voor buisafstanden van 2 cm en 5 cm zijn gegeven in figuur B1.2.



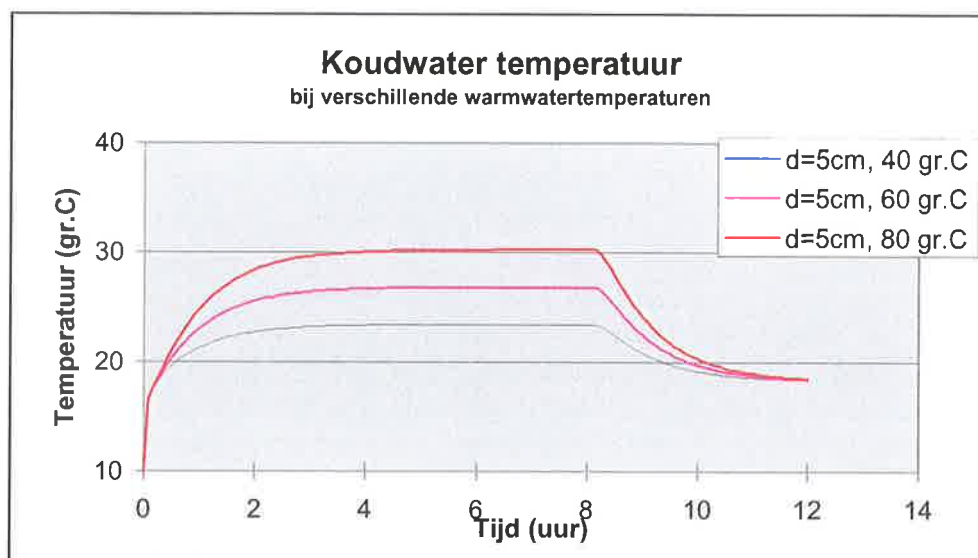
Figuur B1.2 Koudwater temperatuur bij buisdiameter 22 mm. (i.p.v. 15 mm.), buisafstanden 2 en 5 cm.

Een volgende berekening heeft betrekking op de (referentie) wand van gipsblokken, met een dikte van 7 cm, waarin gewerkt wordt met een iets grotere buisdiepte: 20 mm in plaats van 10 mm. De resultaten voor buisafstand 5 cm zijn gegeven in figuur B1.3.



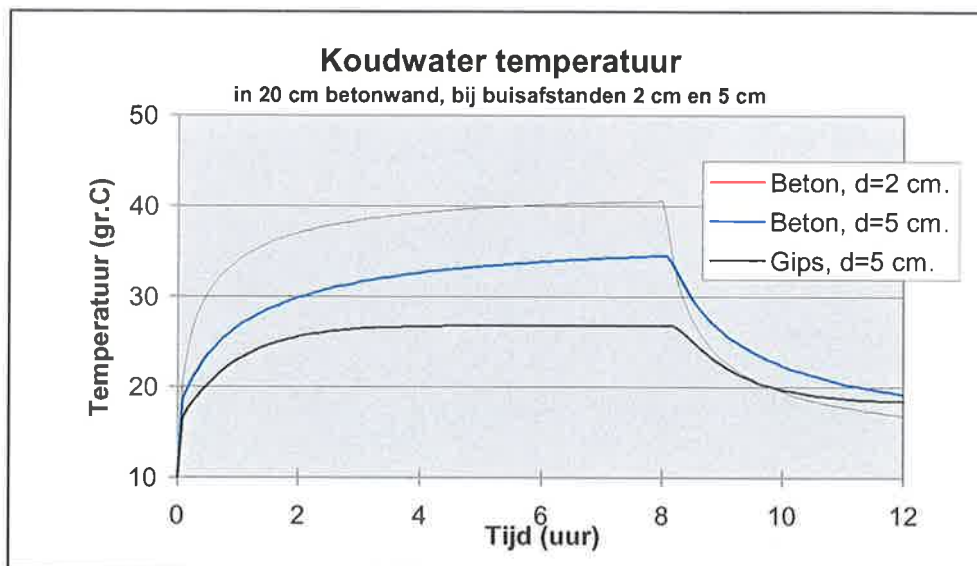
Figuur B1.3 Gipswand conform referentie situatie, met buisdiepte 20 mm i.p.v. 10 mm.

De volgende set berekeningen heeft betrekking op de (referentie) wand van gipsblokken, met een dikte van 7 cm, en een buisafstand van 50 mm. waarin gewerkt wordt met een warmwater temperatuur van 40°C of 80°C in plaats van de in de referentie situatie gebruikte temperatuur van 60°C. De resultaten zijn afgebeeld in figuur B1.4.



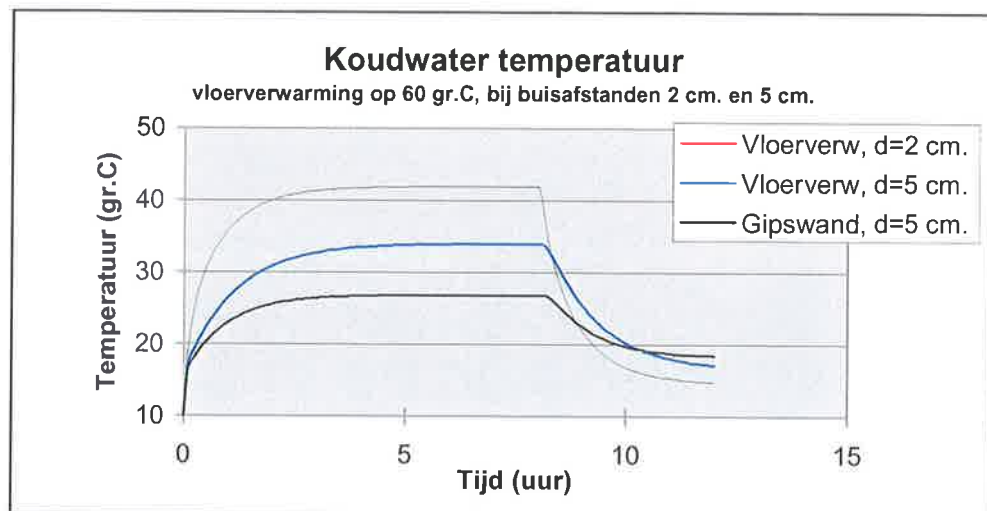
Figuur B1.4 Gipswand conform referentie situatie, warmwater temperaturen 40°C en 80°C.

De vervolgberekeningen hebben betrekking op een situatie, waarbij de buizen zijn gelegen in een betonnen wand met een dikte van 20 cm. De simulatieresultaten bij buisafstanden van 2 en 5 cm zijn gegeven in figuur B1.5, waarin ter vergelijking ook de eerdere simulatie in de wand van gipsblokken met een buisafstand van 5 cm is weergegeven.

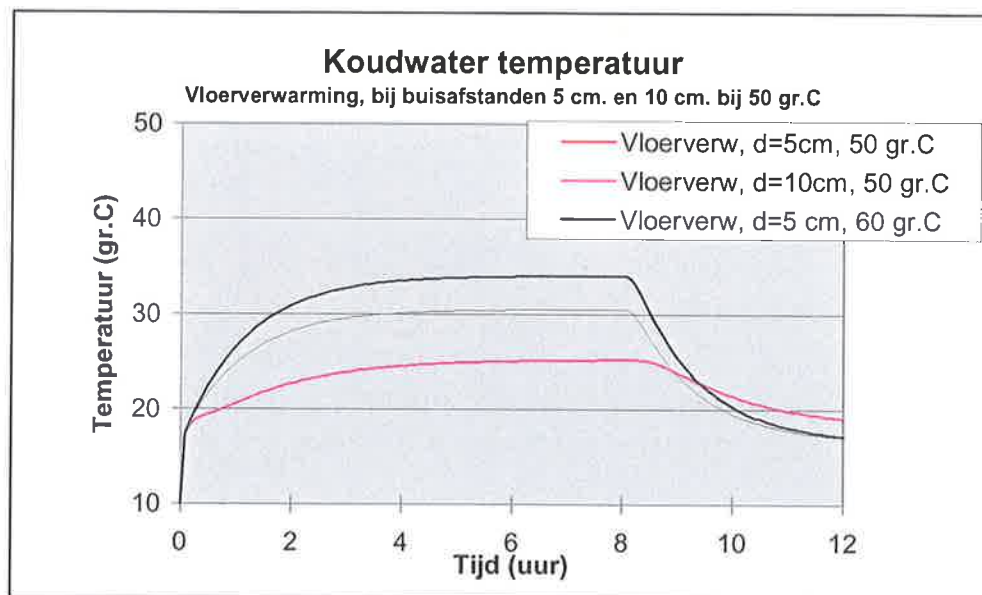


Figuur B1.5 Koudwater temperatuur in betonwand (20 cm. dikte), buisafstanden 2 en 5 cm.

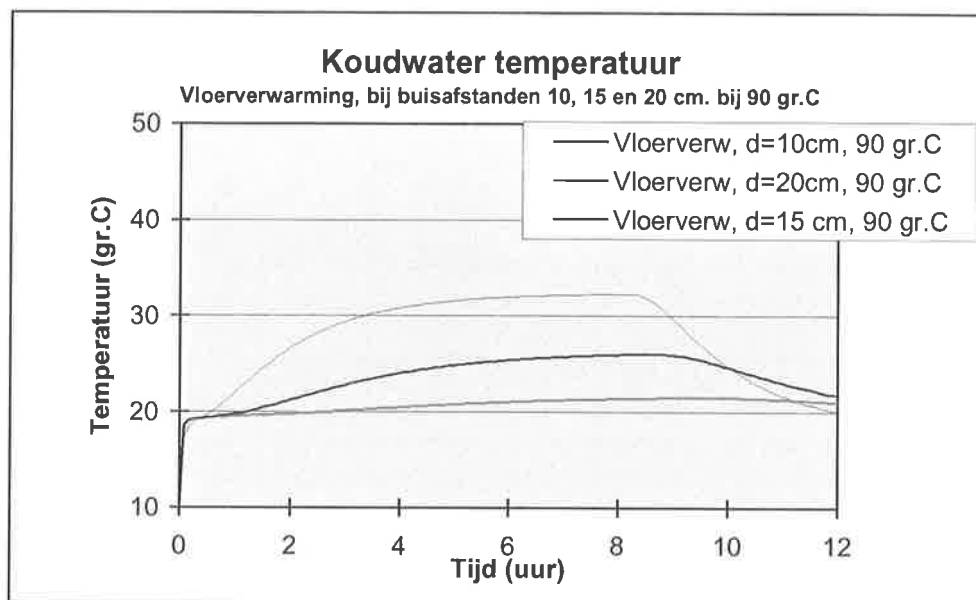
Voor de variant vloerverwarming is een aangepast model gemaakt, met een grotere dikte en opgebouwd uit een aantal lagen. De (warmwater)temperatuur van de vloerverwarming of cv-leiding is 60 °C (figuur B1.6), 50°C (figuur B1.7) of 90 °C (figuur B1.8). De overige invoergegevens zijn reeds gegeven.



Figuur B1.6 Koudwater temperatuur bij vloerverwarming op 60°C, buisafstanden 2 cm en 5 cm.



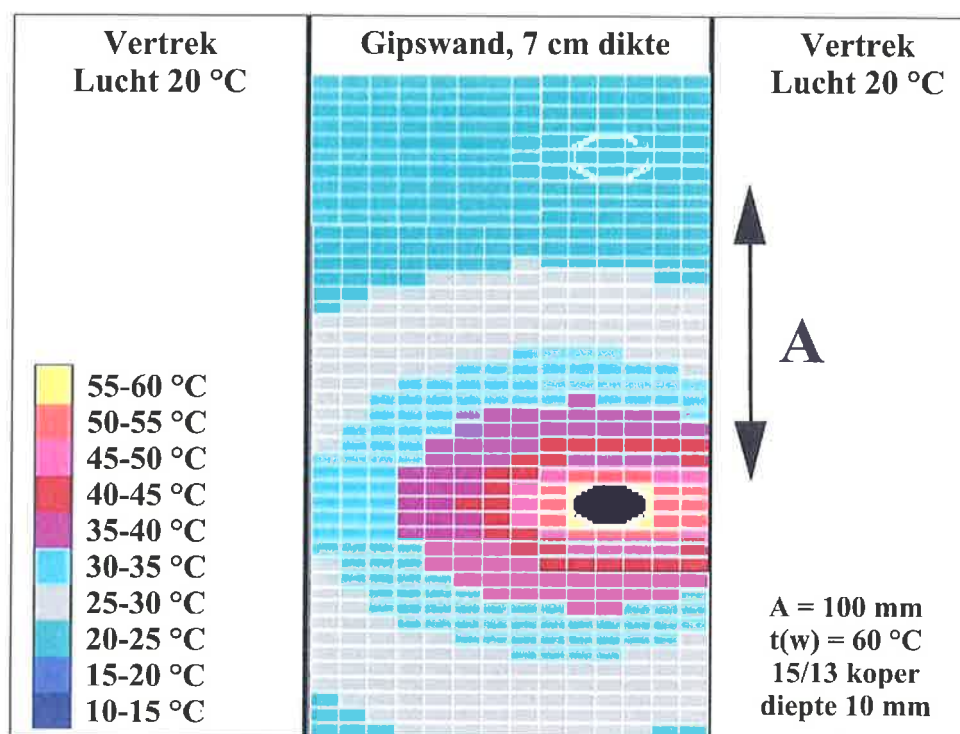
Figuur B1.7 Koudwater temperatuur bij vloerverwarming op 50 en 60°C, buisafstanden 5 cm. en 10 cm.



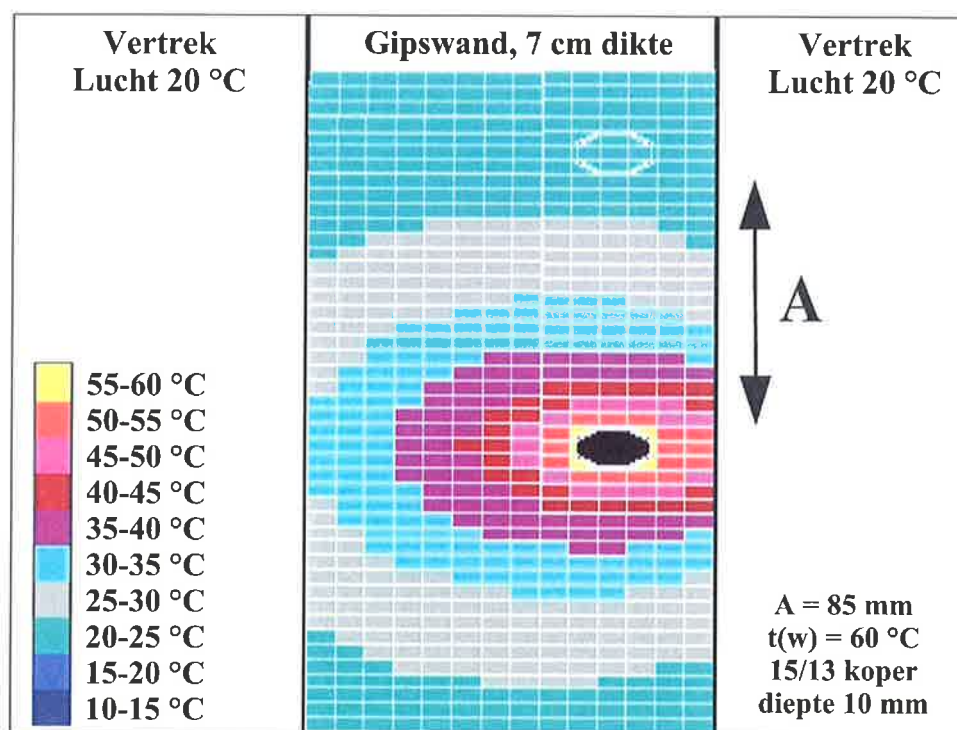
Figuur B1.8 Koudwater temperatuur bij cv-verwarming op 90 °C, buisafstanden 10, 15 en 20 cm.

Bijlage 2 Temperatuurverdeling in wand of vloer

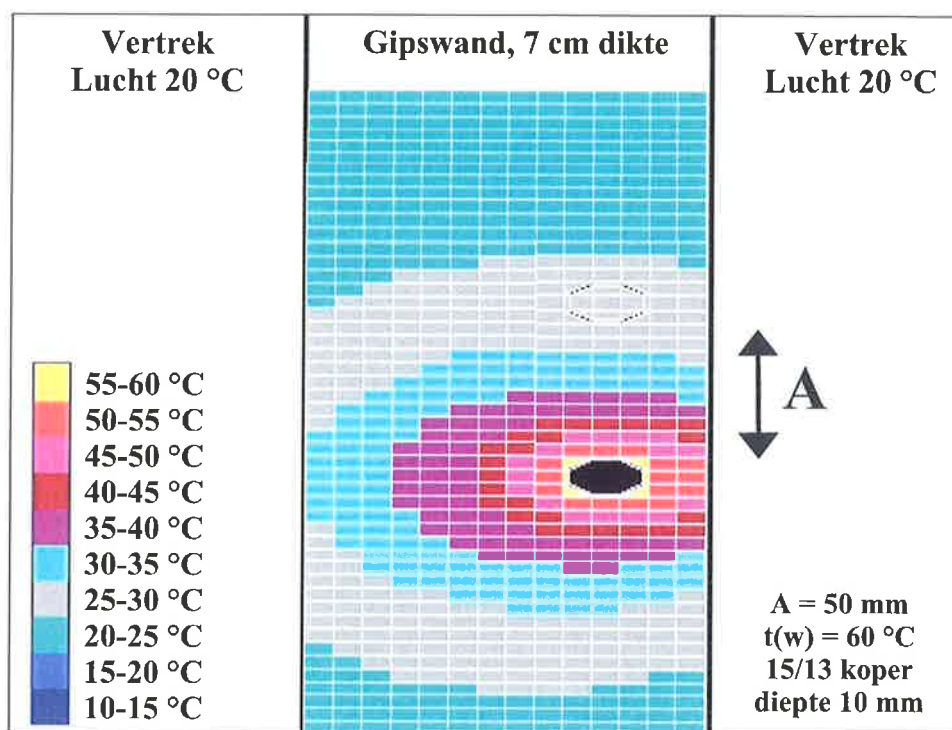
In deze bijlage wordt de temperatuurverdeling in de gesimuleerde wanden en vloeren gegeven in de stabiele situatie.



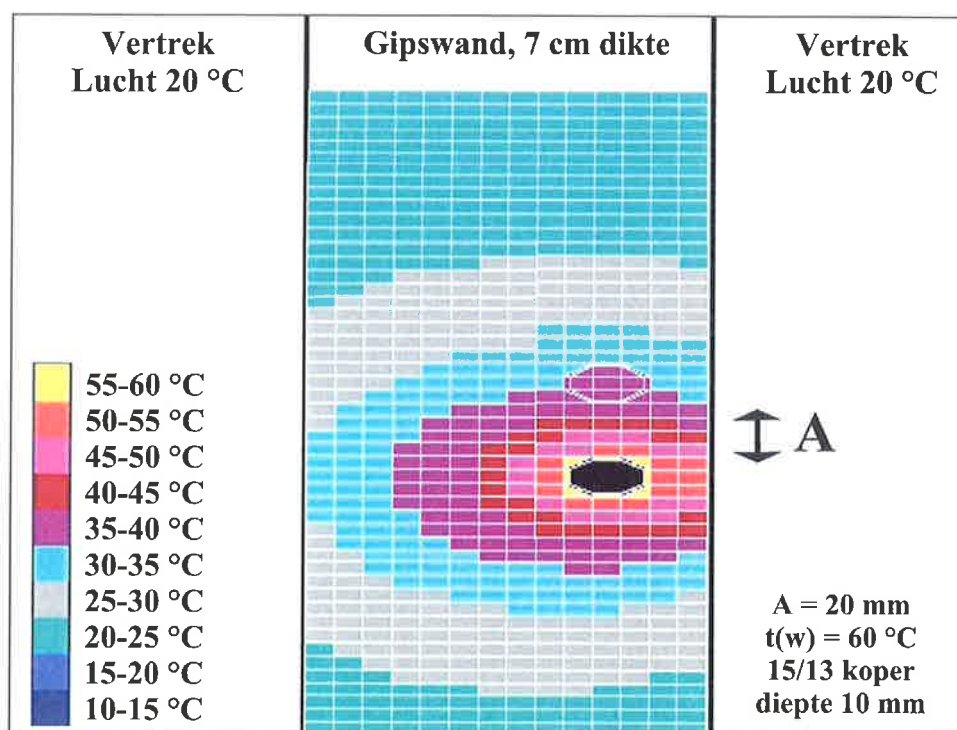
Figuur 1 Variant 1.



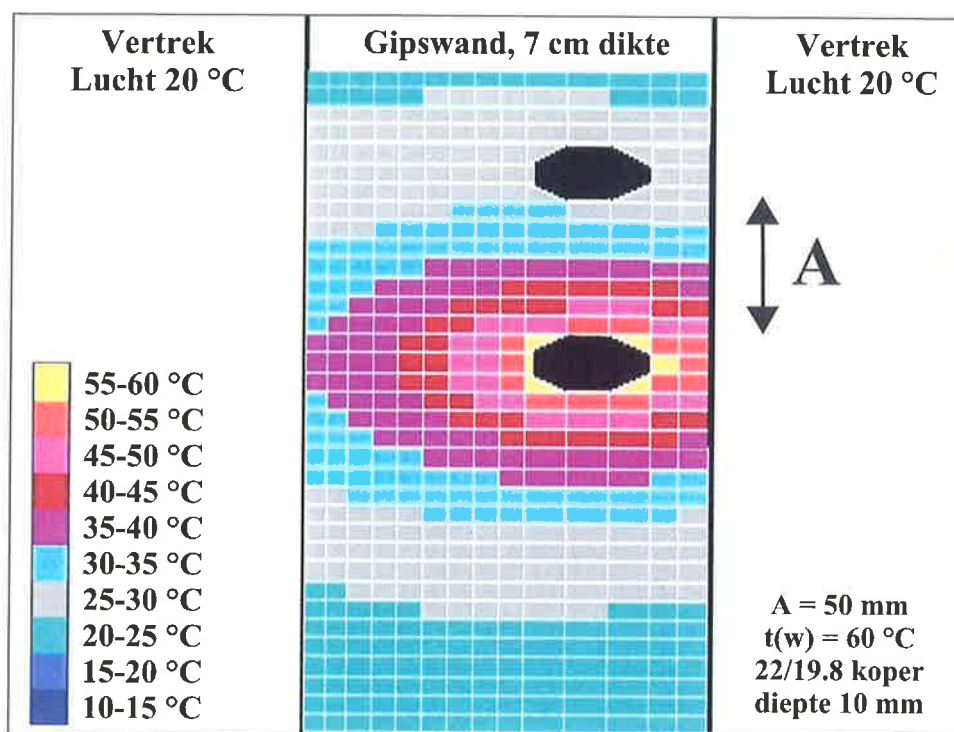
Figuur 2 Variant 2.



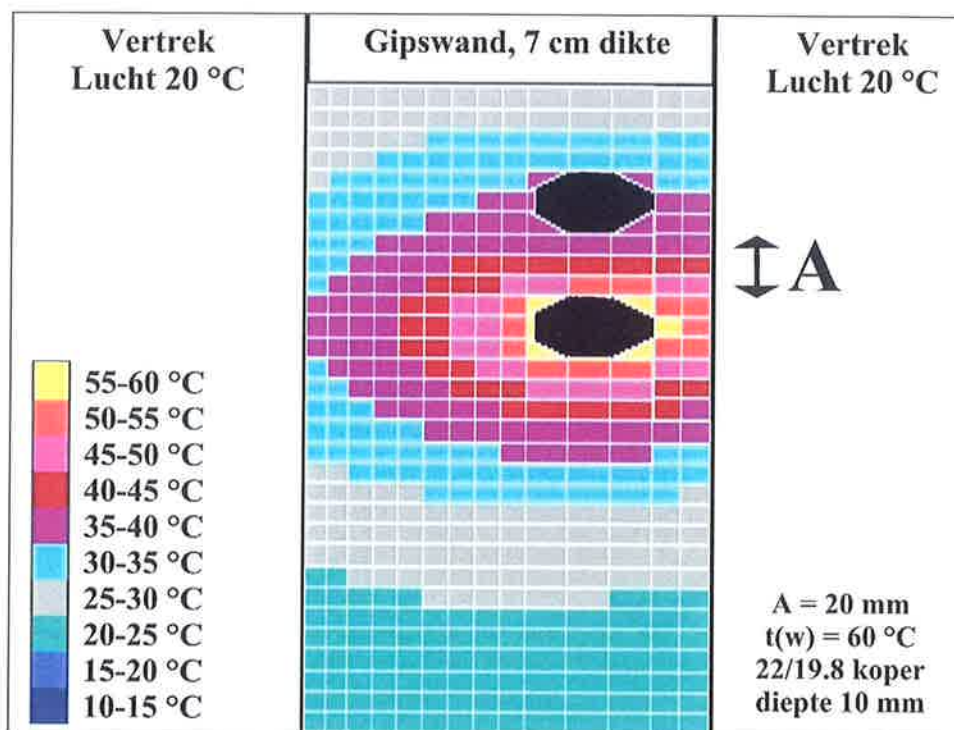
Figuur 3 Variant 3 (referentie gipswand).



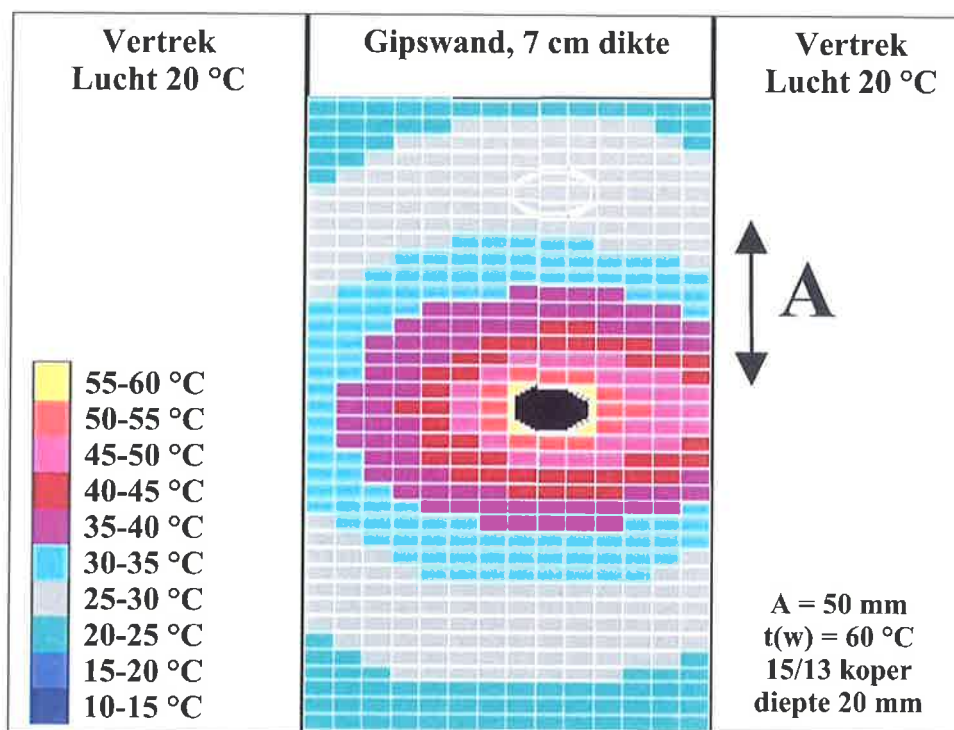
Figuur 4 Variant 4.



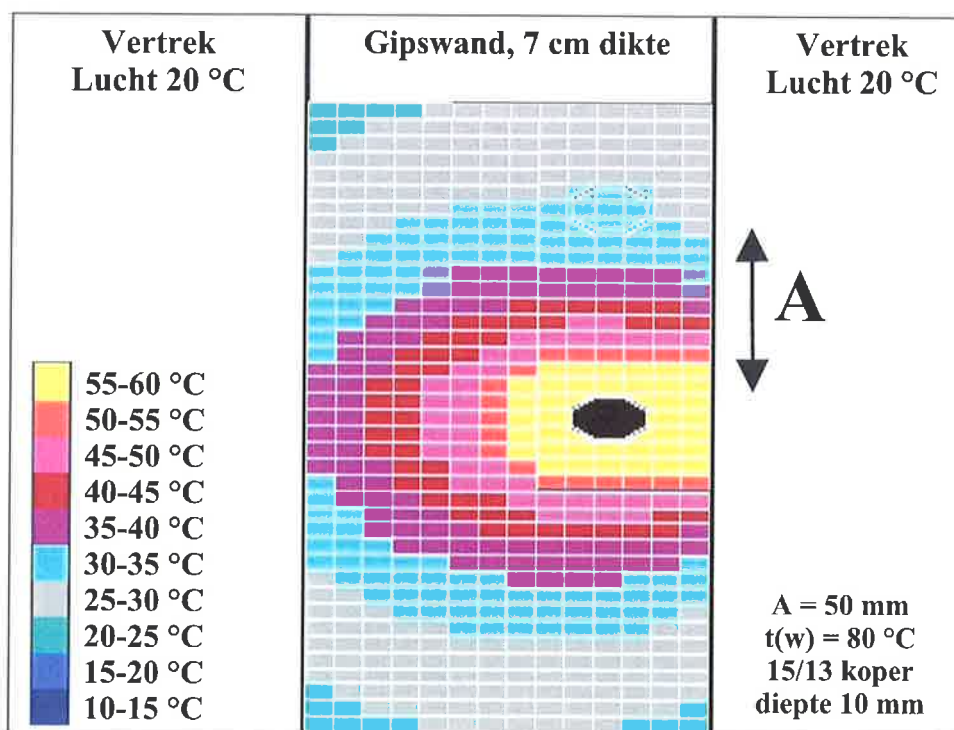
Figuur 5 Variant 6.



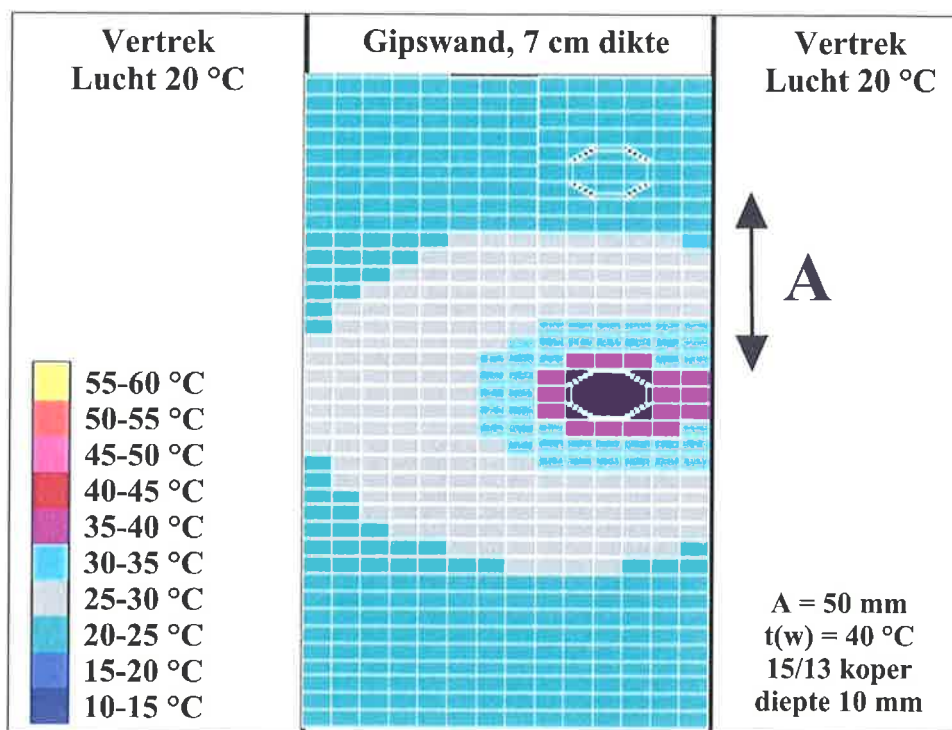
Figuur 6 Variant 7.



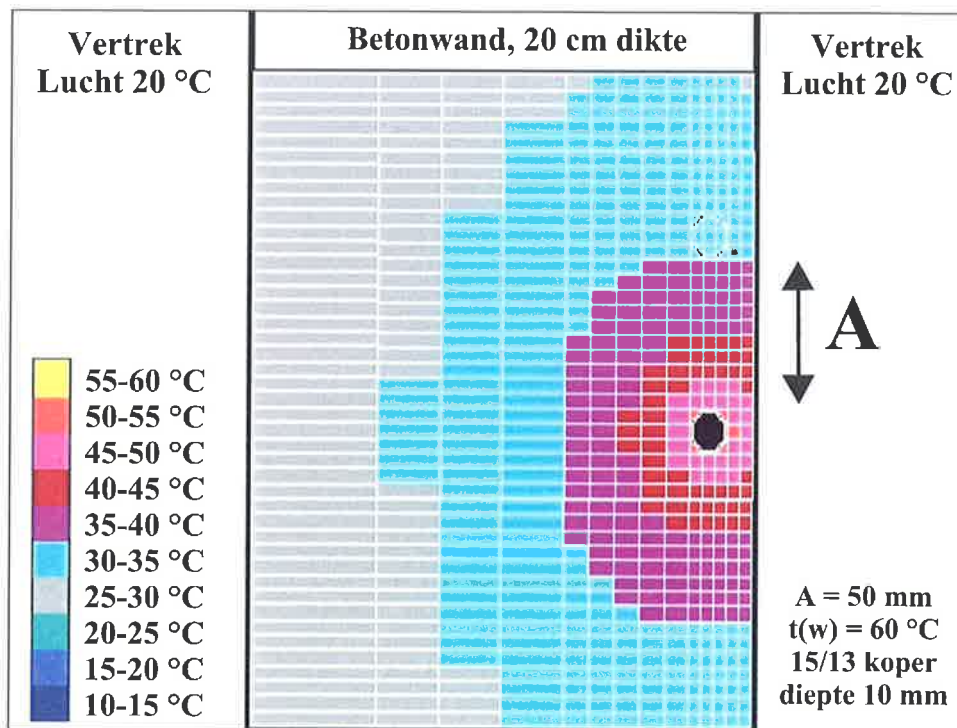
Figuur 7 Variant 8.



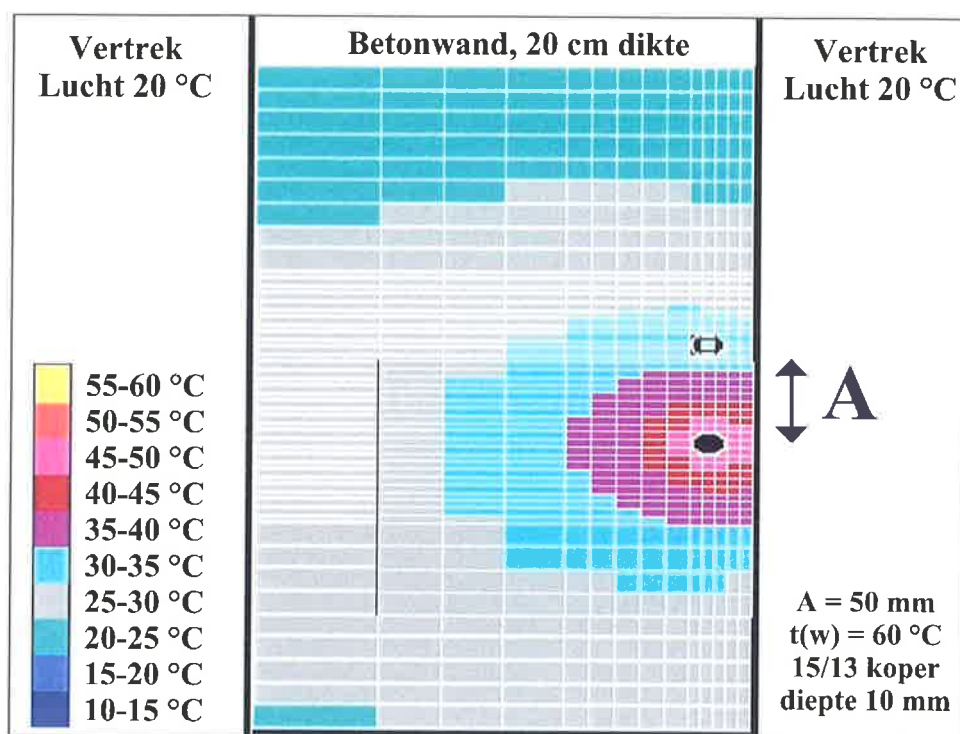
Figuur 8 Variant 9.



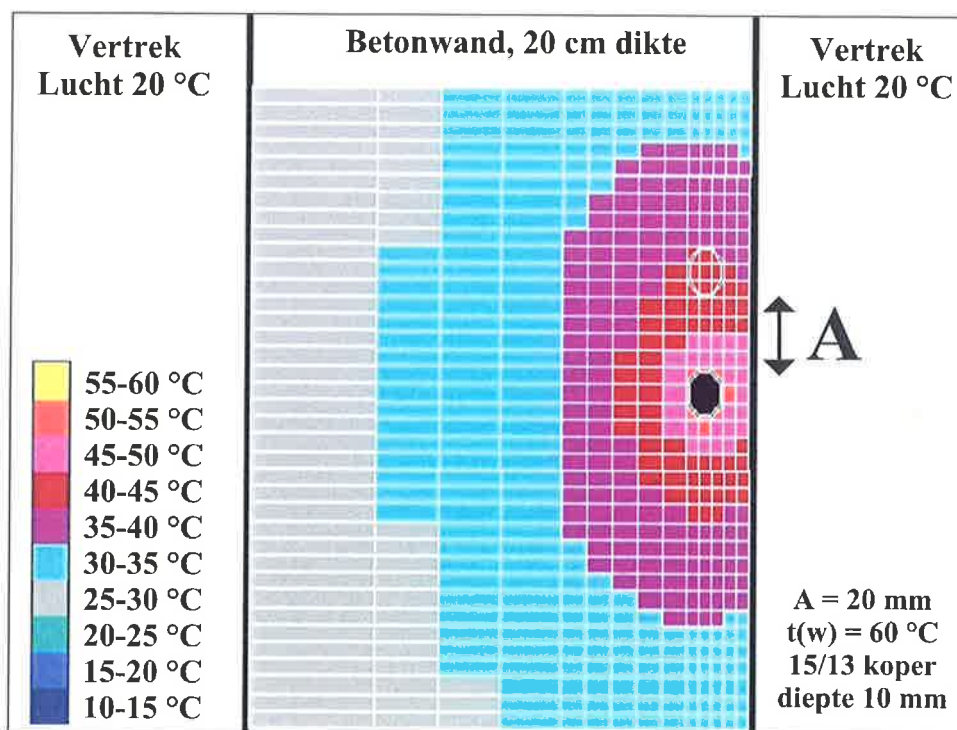
Figuur 9 Variant 10.



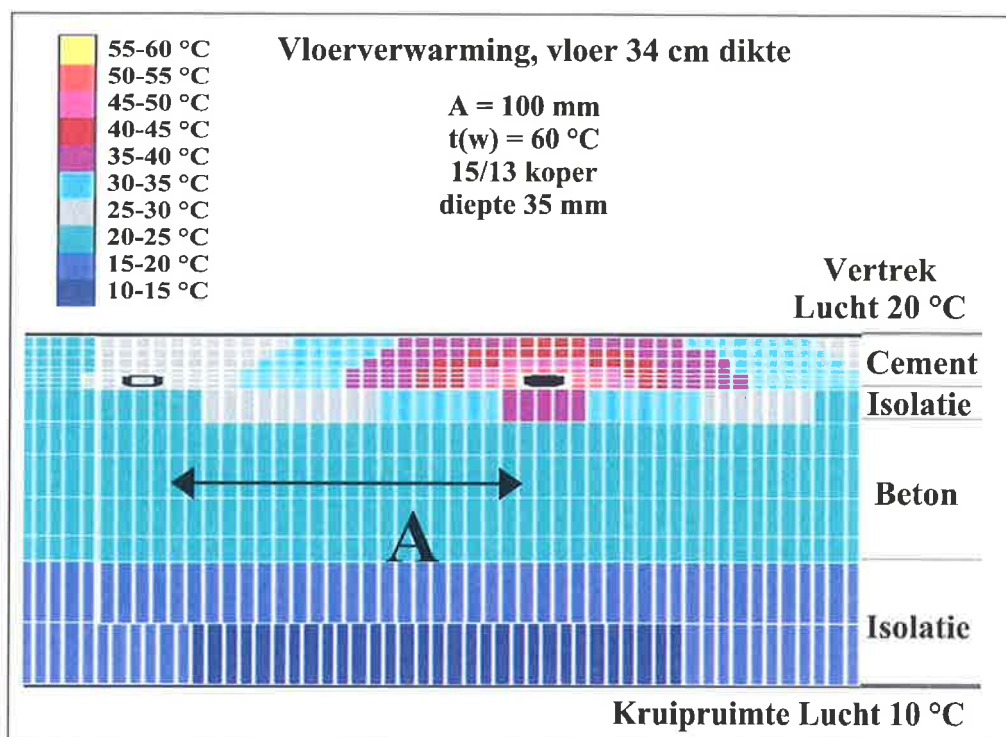
Figuur 10 Variant 11.



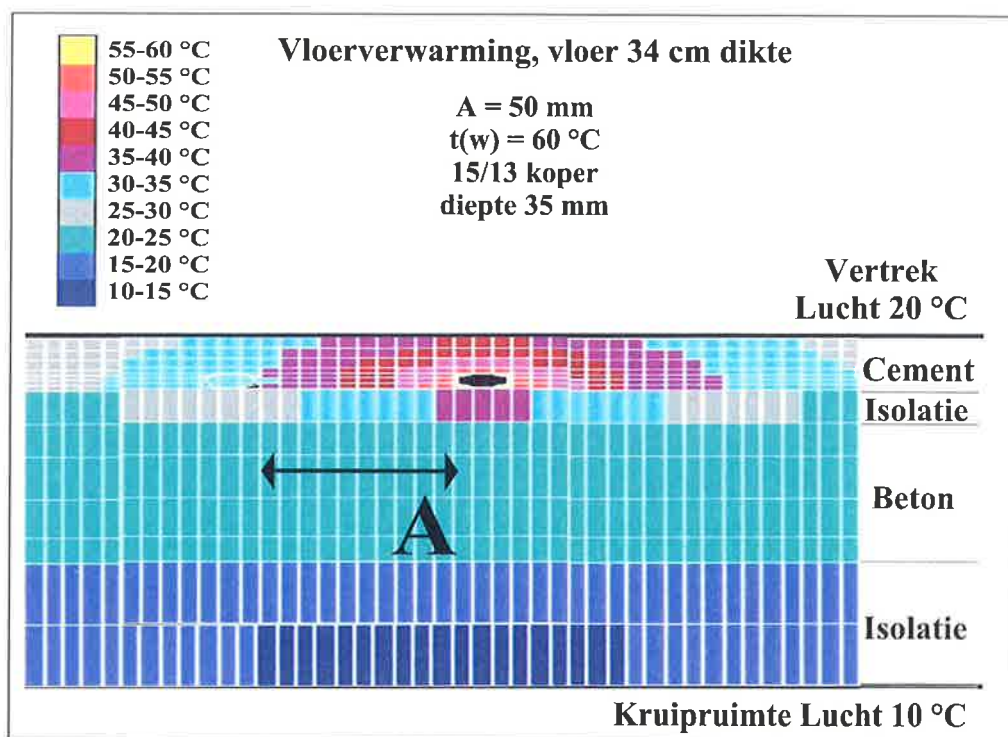
Figuur 11 Variant 11.



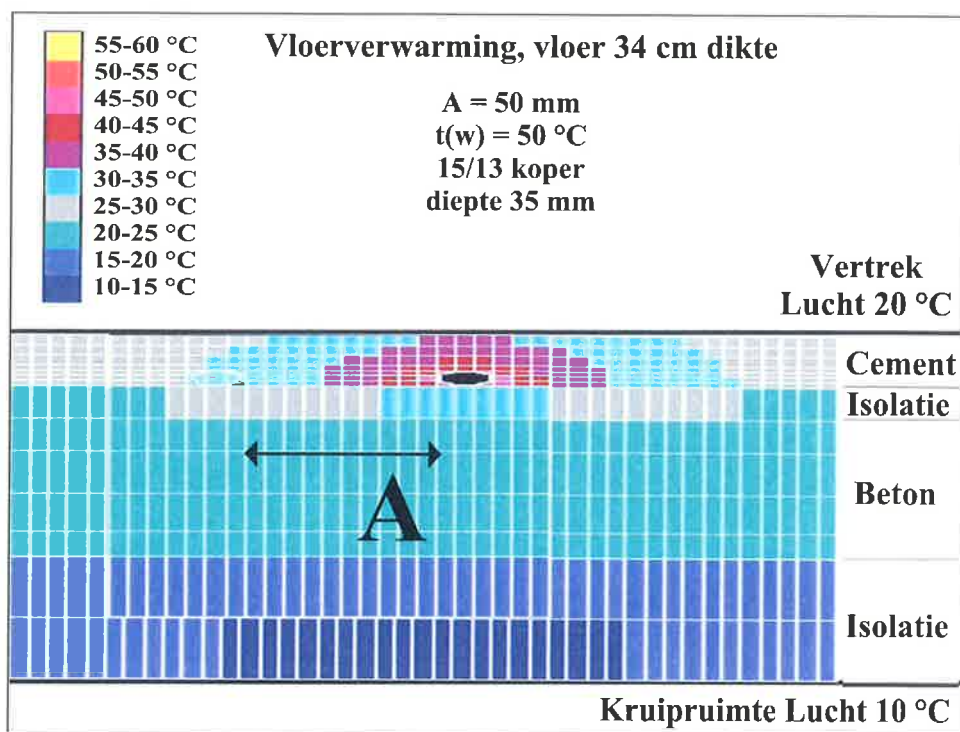
Figuur 12 Variant 12.



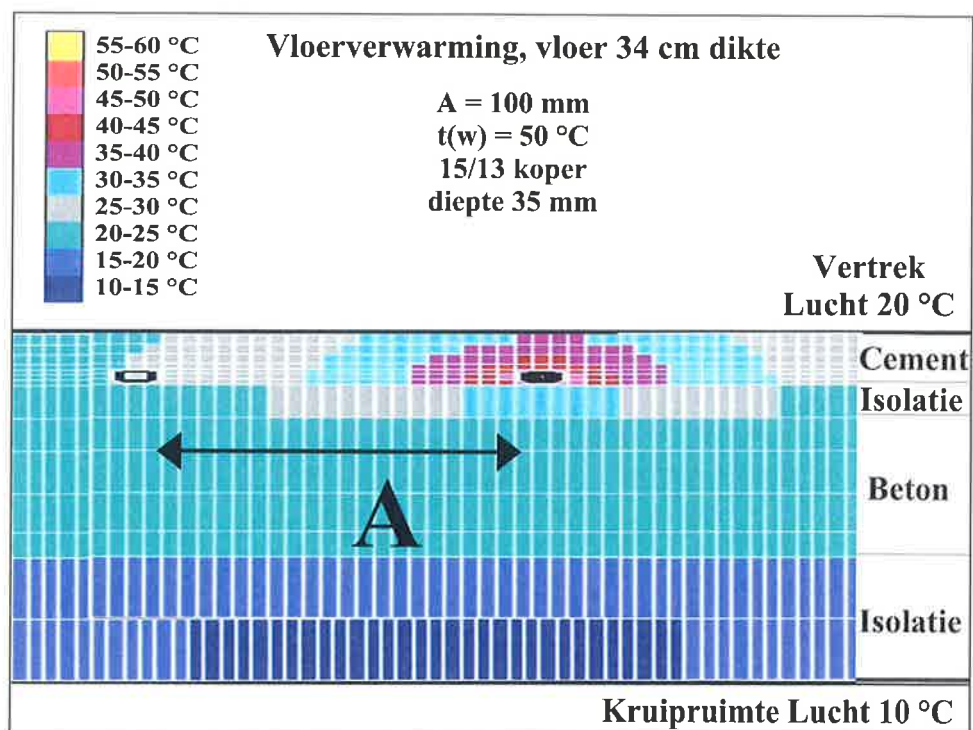
Figuur 13 Variant 13.



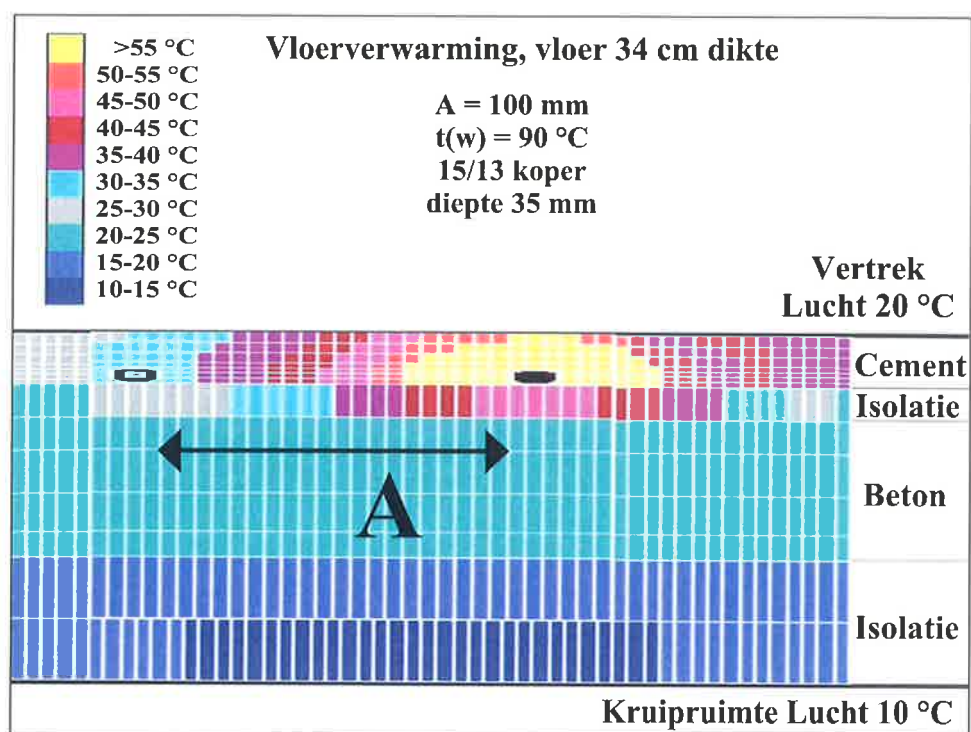
Figuur 14 Variant 14.



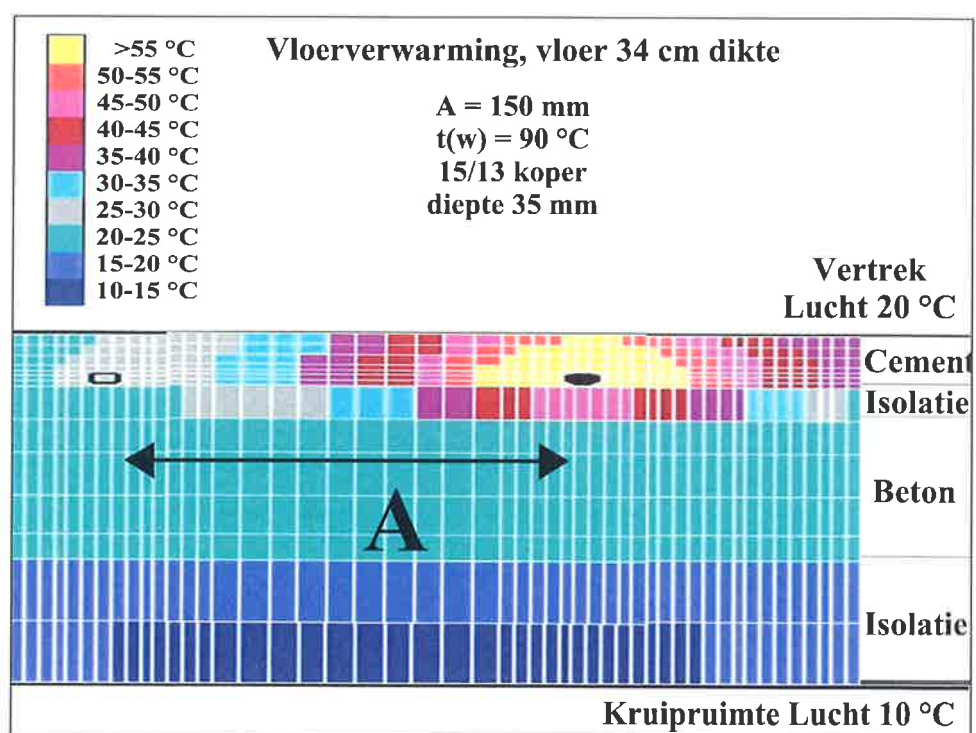
Figuur 15 Variant 16.



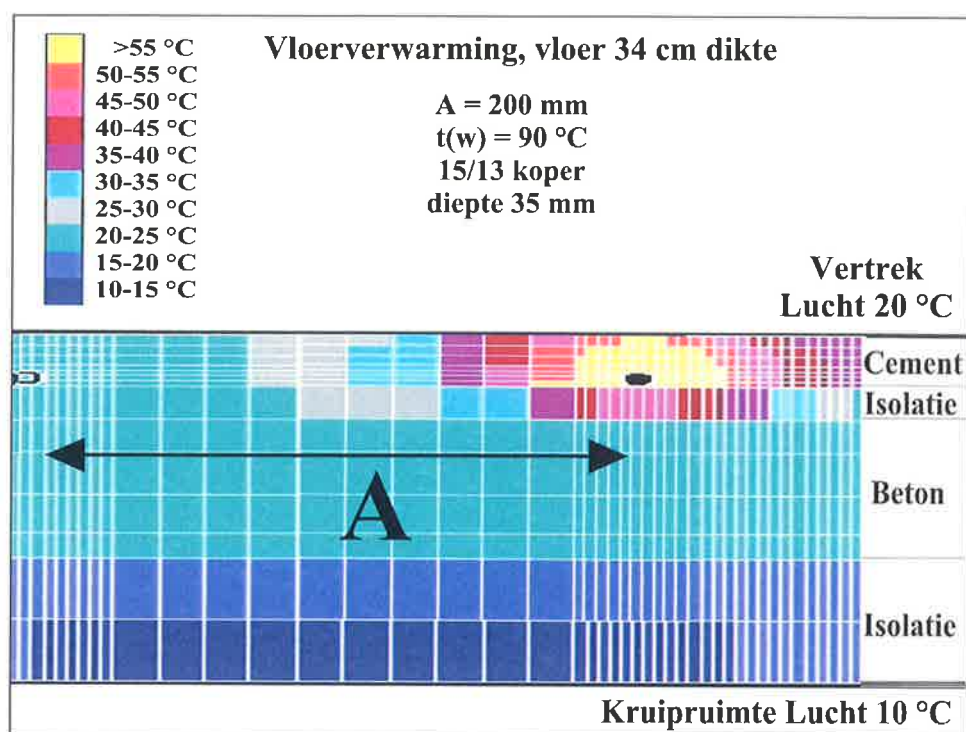
Figuur 16 Variant 17.



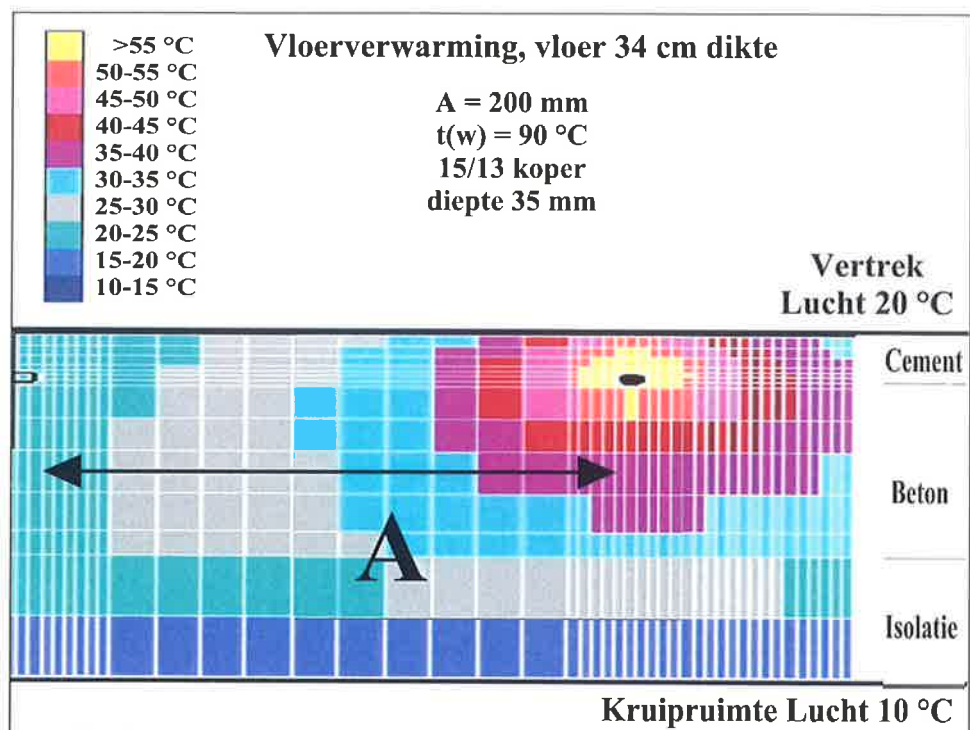
Figuur 17 Variant 18.



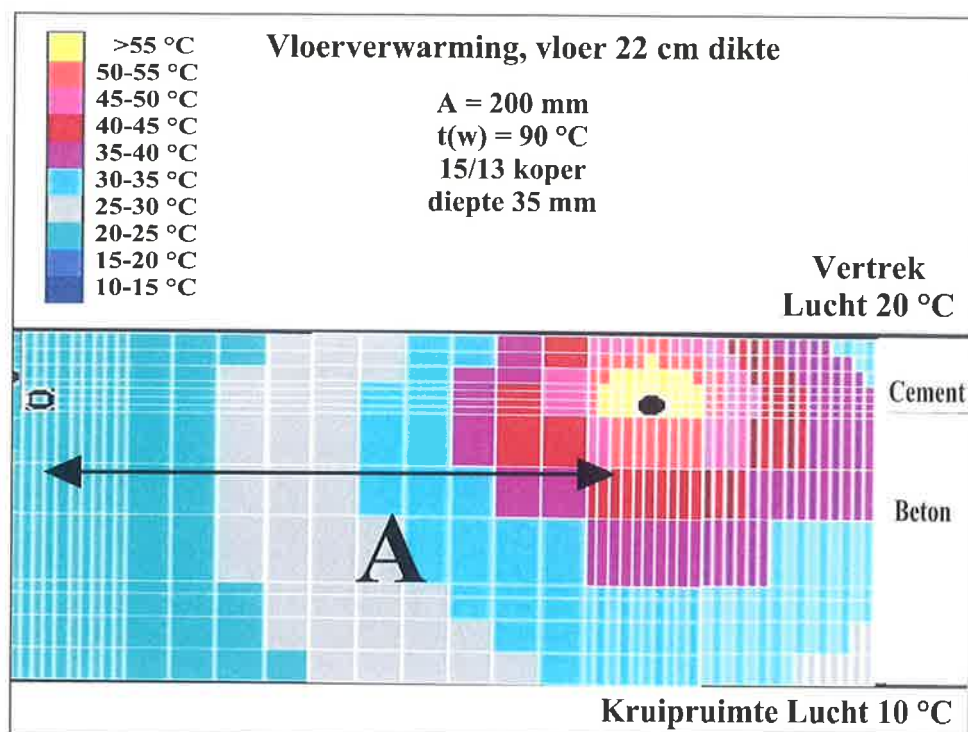
Figuur 18 Variant 19.



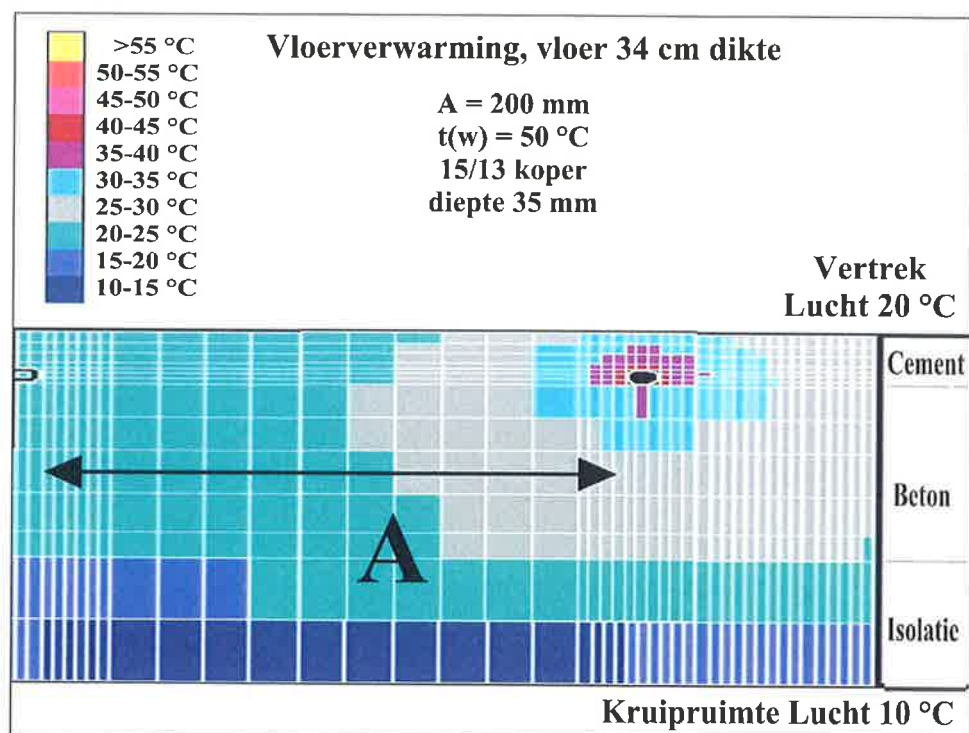
Figuur 19 Variant 20.



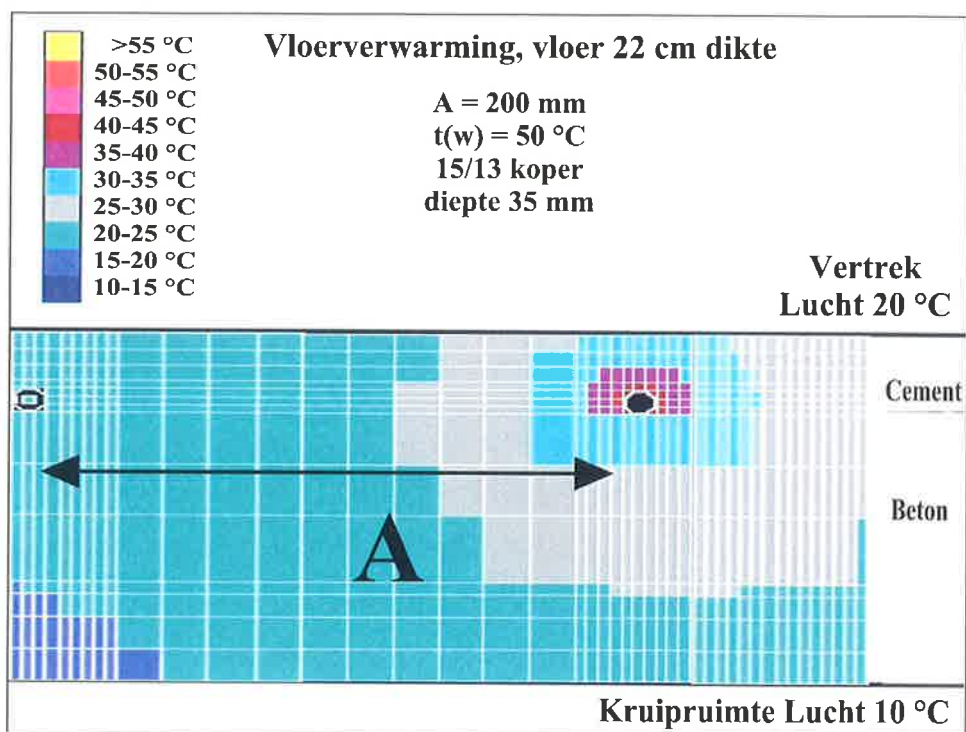
Figuur 20 Variant 21.



Figuur 21 Variant 22.



Figuur 22 Variant 23.

*Figuur 23 Variant 24.*

Bijlage 3 U-waarden wanden

De gegevens in deze bijlage zijn gebruikt in de berekening van leidingtemperaturen in een schacht.

De U-waarde wordt bepaald door de warmteoverdrachtscoëfficiënt aan binnen- en buitenzijde, de warmtegeleidingscoëfficiënt en de dikte van de wand.

Voor een wand die uit één laag van één materiaal bestaat geldt:

$$U = 1 / \{1/\alpha_{f,e} + d/\lambda + 1/\alpha_{f,i}\}$$

Parameters			Waarden
$\alpha_{f,e}$	warmteoverdrachtscoëfficiënt aan buitenzijde wand	W/m ² .K	8
$\alpha_{f,i}$	warmteoverdrachtscoëfficiënt aan binnenzijde wand	W/m ² .K	8 zonder mech. vent. 25 met mech. vent.
d	dikte wand	m	
λ	warmtegeleidingscoëfficiënt wand	W/m.K	

Berekeningsresultaten	dikte	λ	U-waarde	U-waarde
			zonder mech. vent.	met mech. vent.
<i>Materiaal</i>	<i>[m]</i>	<i>[W/m.K]</i>	<i>[W/m².K]</i>	<i>[W/m².K]</i>
Gipsblokken	0,070	0,35	2,22	2,74
Gipsblokken	0,100	0,35	1,87	2,22
Grindbeton verdicht, ongewapend	0,100	1,70	3,24	4,47
Grindbeton verdicht, ongewapend	0,150	1,70	2,96	3,95
Grindbeton verdicht, ongewapend	0,200	1,70	2,72	3,54
Kalkzandsteen	0,105	1,00	2,82	3,70
Kalkzandsteen	0,215	1,00	2,15	2,63
Metselbaksteen (1600)	0,105	0,60	2,35	2,94
Metselbaksteen (1600)	0,215	0,60	1,64	1,91
Metselbaksteen (1150)	0,070	0,40	2,35	2,94
Metselbaksteen (1150)	0,100	0,40	2,00	2,41
Metselbaksteen (1150)	0,150	0,40	1,60	1,85
Metselbaksteen (1150)	0,200	0,40	1,33	1,50

Bijlage 4 U-waarde en diameter leidingen

De gegevens in deze bijlage zijn gebruikt in de berekening van leidingtemperaturen in een schacht.

De U-waarde wordt bepaald door de warmteoverdrachtscoëfficiënt aan binnen- en buitenzijde, de warmtegeleidingscoëfficiënt en de dikte van de leiding en eventueel isolatiemateriaal.

Voor een leiding die uit twee lagen (leidingmateriaal en isolatie/mantel bestaat geldt:

$$U = (2/D_{uit,tot}) / \{ 1/(\alpha_{i,Ri}) + 1/(\alpha_{e,re}) + \ln(D_{uit}/D_{in})/\lambda_{da1} + \ln(D_{uit,tot}/D_{uit})/\lambda_{da2} \}$$

Parameters

alfa,e	warmteoverdrachtscoëfficiënt aan buitenzijde leiding	W/m ² .K	8	of hoger t.g.v. vrije convectie
			25	met mechanische ventilatie
alfa,i	warmteoverdrachtscoëfficiënt aan binnenzijde leiding	W/m ² .K	100	hoog; effect verwaarloosbaar.
d1,2	dikte leidingwand / isolatie/mantel	m		
lambda1,2	warmtegeleidingscoëfficiënt wand / isolatie/mantel	W/m.K		
Noot:	lambda-staal: 41-52 (ISSO6)			

Leiding	Isolatie/mantel								U-waarde	
	Din	Duit	dikte	labda		dikte	labda	Duit,tot	zonder	met
									mech.	vent..
									$[W/m^2]$	$[W/m^2]$
Materiaal	[m]	[m]	[m]	[W/m.K]	Materiaal	[m]	[W/m.K]	[m]	K]	K]
koper 12/10	0,010	0,012	0,001	370,00	geen	0	0	0,012	7,30	19,23
koper 12/10	0,010	0,012	0,001	370,00	iso.	0,01	0,035	0,032	1,65	1,92
koper 15/13	0,013	0,015	0,001	370,00	geen	0	0	0,015	7,32	19,40
koper 15/13	0,013	0,015	0,001	370,00	iso.	0,01	0,035	0,035	1,74	2,04
koper 22/20	0,020	0,022	0,001	370,00	geen	0	0	0,022	7,35	19,61
koper 22/20	0,020	0,022	0,001	370,00	iso. 1 cm	0,01	0,035	0,042	1,87	2,23
koper 22/20	0,020	0,022	0,001	370,00	iso. 2 cm	0,02	0,035	0,062	0,93	1,01
staal 20	0,022	0,027	0,003	45,00	geen	0	0	0,027	7,28	19,11
staal 20	0,022	0,027	0,003	45,00	iso. 1 cm	0,01	0,035	0,047	1,93	2,31
staal 20	0,022	0,027	0,003	45,00	iso. 2 cm	0,02	0,035	0,067	0,98	1,06
staal 25	0,027	0,0337	0,003	45,00	geen	0	0	0,0337	7,27	19,06
staal 25	0,027	0,0337	0,003	45,00	iso. 1 cm	0,01	0,035	0,0537	1,99	2,40
staal 25	0,027	0,0337	0,003	45,00	iso. 2 cm	0,02	0,035	0,0737	1,02	1,12
staal 32	0,036	0,0424	0,003	45,00	geen	0	0	0,0424	7,31	19,27
staal 32	0,036	0,0424	0,003	45,00	iso. 1 cm	0,01	0,035	0,0624	2,05	2,49
staal 32	0,036	0,0424	0,003	45,00	iso. 2 cm	0,02	0,035	0,0824	1,07	1,18
PPR	0,0101	0,0162	0,003	0,23	geen	0	0	0,0162	6,34	13,76
PPR	0,0101	0,0162	0,003	0,23	iso. 1 cm	0,01	0,035	0,0362	1,63	1,89
PPR	0,0101	0,0162	0,003	0,23	iso. 2 cm	0,02	0,035	0,0562	0,81	0,87
PB	0,018	0,022	0,002	0,22	geen	0	0	0,022	6,79	16,06
PB	0,018	0,022	0,002	0,22	iso. 1 cm	0,01	0,035	0,042	1,80	2,13
PB	0,018	0,022	0,002	0,22	iso. 2 cm	0,02	0,035	0,062	0,90	0,98
PVC-C	0,0122	0,0161	0,002	0,16	geen	0	0	0,0161	6,57	14,89
PVC-C	0,0122	0,0161	0,002	0,16	iso. 1 cm	0,01	0,035	0,0361	1,66	1,93
PVC-C	0,0122	0,0161	0,002	0,16	iso. 2 cm	0,02	0,035	0,0561	0,82	0,88
PE/MD/Al	0,0119	0,0161	0,002	1,54	geen	0	0	0,0161	7,14	18,15
PE/MD/Al	0,0119	0,0161	0,002	1,54	iso. 1 cm	0,01	0,035	0,0361	1,74	2,04
PE/MD/Al	0,0119	0,0161	0,002	1,54	iso. 2 cm	0,02	0,035	0,0561	0,85	0,91
PE-Xa	0,0116	0,0160	0,002	0,41	geen	0	0	0,016	6,89	16,65
PE-Xa	0,0116	0,0160	0,002	0,41	iso. 1 cm	0,01	0,035	0,036	1,70	1,99
PE-Xa	0,0116	0,0160	0,002	0,41	iso. 2 cm	0,02	0,035	0,056	0,84	0,90