

Dit eindwerk kwam tot stand in opdracht van de Katholieke Hogeschool St.-Lieven, departement Aalst, en werd ingediend tot het behalen van de graad van bachelor in de elektromechanica, richting klimatisering.

## **Kerkbankverwarming**

Door: **Bosschaert Jan**  
**Demaecker Nick**

Schoolmentor: **De Nijs Jan**

### **Voorwoord**

Met oprechte dank aan allen die rechtstreeks of onrechtstreeks hebben geholpen bij het tot stand komen van dit eindwerk, en in het bijzonder aan Dhr. Denijs Jan voor zijn deskundige begeleiding en aan Daikin Europe NV. en Thermoduct NV. voor de materiële en informatieve steun.

Ook willen we onze ouders bedanken voor de morele en materiële steun.

Mei, 2007

# Inhoudsopgave

<b>Voorwoord.....</b>	<b>1</b>
<b>Inhoudsopgave .....</b>	<b>2</b>
<b>Inhoudsopgave figuren.....</b>	<b>4</b>
<b>1. Situatie schets.....</b>	<b>6</b>
1.1 Studie vorig jaar .....	6
1.2 Banken systeem .....	7
1.3 Bouw prototype .....	8
1.4 Planning .....	8
<b>2. Banken met luchtverwarmingssysteem .....</b>	<b>10</b>
2.1 Principe .....	10
2.2 Berekeningen .....	12
2.2.1 Bij een uitblaastemperatuur van 30°C en $\Delta t$ van 5°C .....	13
2.2.2 Bij een uitblaastemperatuur van 30°C en $\Delta t$ van 10°C .....	15
2.3 Eerste proef opstelling .....	16
2.3.1 Gaatjesbuisopstelling (opstelling op 4-10-2006).....	17
2.3.2 Meting van 1 <sup>ste</sup> situatie.....	19
2.3.3 Meting van 2 <sup>de</sup> situatie.....	19
2.4 Proefopstelling 2.....	23
2.4.1 Meting 1 op 06-10-2006 .....	23
2.4.2 Meting 2 op 11-10-2006 .....	24
2.4.3 Algemene conclusie.....	27
<b>3. Banken met contactoppervlakteverwarming.....</b>	<b>28</b>
3.1 Lucht als transportmedium .....	29
3.2 Water als transportmedium.....	42
3.2.1 Nat vloerverwarmingssysteem .....	42
3.2.1.1 Principe .....	42
3.2.1.2 Thermoduct eco-systeem .....	43
3.2.1.3 Profi-systeem .....	44
3.2.2 Droog vloerverwarmingssysteem .....	45
3.2.3 Technische beschrijving .....	46
3.3 Berekeningen .....	51
3.4 Bepalen van verwarmingssysteem.....	56
3.4.1 Mogelijke warmteproductiesystemen.....	56
3.4.2 Berekening van de Warmtepomp .....	61
3.5 Ontwerp .....	71
3.6 Opbouw prototype .....	75
3.6.1 Opbouw sokkel .....	75
3.6.2 Opbouw banken.....	76

3.6.3	Opbouwen banken te Aalst.....	85
3.6.4	Plaatsen toestel Daikin .....	89
3.7	Testen van het prototype .....	98
<b>4.</b>	<b>Kostprijsberekening .....</b>	<b>110</b>
4.1	Berekeningsschema voor toeslagberekening.....	110
4.2	Bepalen van de materiaalkosten .....	111
4.3	Bepalen van fabricagekosten.....	112
4.4	Bepalen van de totale productiekosten .....	112
4.5	Bepalen van factuurbedrag .....	112
<b>5.</b>	<b>Energieverbruik warmtepomp.....</b>	<b>113</b>
	<b>Algemene conclusie eindwerk.....</b>	<b>115</b>
	<b>Bronvermelding .....</b>	<b>116</b>
	<b>Bijlagen.....</b>	<b>117</b>

## Inhoudsopgave figuren

Figuur 1.1: Sint Martinus kerk .....	6
Figuur 1.2: Kerkbankverwarming eerste idee .....	7
Figuur 1.3: Plattegrond Sint Martinus kerk .....	9
Figuur 2.1: Luchtcirculatie in en uit de banken .....	10
Figuur 2.2: Schematische voorstelling inductieverschijnsel .....	16
Figuur 2.3: Schematische voorstelling gaatjesbuisopstelling .....	17
Figuur 2.4: Foto gaatjesbuisopstelling .....	17
Figuur 2.5: Foto verwarmingselement en rookmachine .....	18
Figuur 2.6: Foto ventilator en rheotor .....	18
Figuur 2.7: Voorstelling 1 rook bij gaatjes buisopstelling .....	21
Figuur 2.8: Voorstelling 2 rook bij gaatjes buisopstelling .....	21
Figuur 2.9: Tweede opstelling lucht .....	22
Figuur 2.10: Foto van opstelling, ventilator, verwarmings- en rookmachine .....	23
Figuur 2.11: Schematische voorstelling tweede opstelling .....	24
Figuur 2.12: Foto tweede opstelling .....	24
Figuur 2.13: Foto laatste wijziging tweede opstelling .....	26
Figuur 3.1: Schematische voorstelling contactoppervlakteverwarming met lucht .....	29
Figuur 3.2: Schematische voorstelling $\alpha$ -waarde .....	31
Figuur 3.3: Tabel $\lambda$ -waarden .....	32
Figuur 3.4: Bank met verwarmde oppervlakken .....	33
Figuur 3.5: Tabel vermogen bij verschillende kerken .....	34
Figuur 3.6: Schematische voorstelling contactoppervlakteverwarming met lucht .....	36
Figuur 3.7: Schematische voorstelling $\alpha$ -waarde bij lucht als contactoppervlakteverwarming .....	37
Figuur 3.8: Thermoduct eco-systeem .....	43
Figuur 3.9: Foto principe droog vloerverwarmingssysteem .....	45
Figuur 3.10: Plaatsing van verwarmingselementen bij doctoraatsthesis .....	49
Figuur 3.11: Bank met verwarmde oppervlakken .....	50
Figuur 3.12: Ontwerp maten van de banken .....	51
Figuur 3.13: Schematische voorstelling droge vloerverwarming in onze banken .....	54
Figuur 3.14: Elektrische doorstromer .....	56
Figuur 3.15: Gascondenseerende boiler .....	58
Figuur 3.16: Warmtepomp .....	59
Figuur 3.17: Klimatologische normalen in Ukkel .....	61
Figuur 3.18: Tabel capaciteit warmtepomp .....	62
Figuur 3.19: Tabel debiet van pomp in de warmtepomp .....	63
Figuur 3.20: Pompkarakteristiek .....	64
Figuur 3.21: Drukval over de verdamper .....	65
Figuur 3.22: Voorstelling vloerverwarmingsbuizen .....	66
Figuur 3.23: Kunststof buizen volgen NBN 42 003 .....	67
Figuur 3.24: Lengtes van vloerverwarmingscircuits .....	68
Figuur 3.25: Draadbuizen volgens NBN A 25 .....	70
Figuur 3.26: Voorstelling opbouw sokkel .....	72
Figuur 3.27: Zijaanzicht sokkel .....	72
Figuur 3.28: Schematische voorstelling opbouw banken .....	73



Figuur 3.29: Schematische voorstelling banken op sokkel .....	74
Figuur 3.30: Foto droog vloerverwarmingssysteem.....	75
Figuur 3.31: Profiel met CNC hout freesmachine.....	76
Figuur 3.32: Zagen van planken.....	77
Figuur 3.33: Monteren steunprofielen.....	78
Figuur 3.34: Plaatsen isolatieprofielen.....	79
Figuur 3.35: Aanpassingen voor legschema buizen.....	79
Figuur 3.36: Aanpassingen $\Omega$ -profielen.....	80
Figuur 3.37: Legschemabuizen in bankenstelsel.....	80
Figuur 3.38: Samenstelling droog vloerverwarmingssysteem.....	81
Figuur 3.39: Legschemabuizen aan achterkant banken.....	82
Figuur 3.40: Isolatie bovenkant banken.....	83
Figuur 3.41: Alle banken in prefab.....	84
Figuur 3.42: Levering banken in Sint Martinus kerk.....	85
Figuur 3.43: Plaatsing banken op sokkel.....	85
Figuur 3.44: Monteren collector.....	86
Figuur 3.45: Aansluiten collector.....	87
Figuur 3.46: Aansluiten banken op sokkel.....	88
Figuur 3.47: Plaatsing Daikin toestel.....	89
Figuur 3.48: Transformator drie fasig.....	91
Figuur 3.49: Aansluiten transformator.....	92
Figuur 3.50: Aansluiten chiller aan collector.....	94
Figuur 3.51: Circuits vullen met water.....	95
Figuur 3.52: Probleemstelling aansluiting toestel.....	96
Figuur 3.53: Wijziging sturing voor ventilator.....	96
Figuur 3.54: Wijziging om 220V te leveren aan printplaat.....	97
Figuur 3.55: Coil van Daikin toestel en plaatsing nieuwe contactor.....	97
Figuur 3.56: Plaatsen thermokoppels.....	98
Figuur 3.57: Plaatsingbepaling thermokoppels.....	98
Figuur 3.58: Schematische voorstelling thermokoppels.....	99
Figuur 3.59: Isolatie waterbuizen.....	99
Figuur 3.60: Handleiding om differentie in te stellen.....	100
Figuur 3.61: Installatie verwarming in achterkant bankenstelsel.....	101
Figuur 3.62: Figuur uit doctoraat: aantonen zijdelingse tocht.....	102
Figuur 3.63: Aanbrengen deuren aan de banken.....	102
Figuur 4.1: Schematische voorstelling kostprijsberekening.....	110

# 1. Situatie schets

## 1.1 Studie vorig jaar

31 december 2006 was de officiële stopzetting van de verdeling van stoom als energiedrager voor het verwarmen van gebouwen in Aalst. Naar aanleiding van dit probleem was er in het Academie jaar 2005/2006 een studie gemaakt over mogelijke andere verwarmingssystemen voor de Sint-Martinuskerk te Aalst. De studie leidde onder andere tot volgende conclusie: het beste verwarmingstype is een pulserende luchtverwarming die laag bij de grond geplaatst is en met lage pulsietemperaturen werkt.

Er werd voorgesteld om met 24 ventiloconvectoren van elk 22kW te werken die elk ongeveer 120m<sup>2</sup> vloeroppervlakte voor hun rekening nemen. Het geheel zou gevoed kunnen worden door drie over de kerk verspreide gascondenserende ketels.

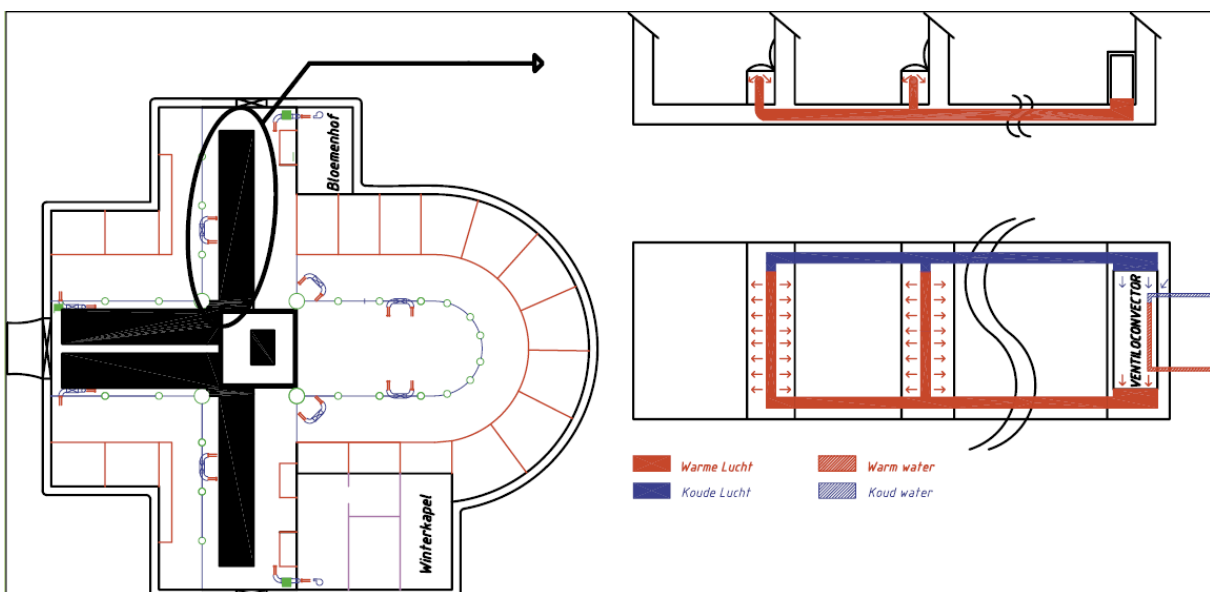


Figuur 1.1: Sint Martinus kerk

## 1.2 Banken systeem

Na de slotbespreking en de nabeschuiving besloten de betrokkenen dat een bankenverwarming, uitgerust met ventiloconvectoren op lage temperatuur, hier waarschijnlijk de meest economische manier is. Dit met het grootste respect voor ons erfgoed en toch ervoor zorgend dat de kerkbezoekers van enig comfort voorzien zijn.

Door lucht te laten circuleren in het bankenstelsel willen we een soort microklimaat creëren rond de banken. Door de lucht die we uitblazen terug op te vangen zou de omgeving in de kerk weinig worden beïnvloed, met als resultaat dat er geen gevaar voor aantasting van het erfgoed bestaat. Een ander voordeel aan dit systeem is dat het enkel hoeft te werken wanneer er personen aanwezig zijn en dus niet continu moet aanliggen wat resulteert in lagere verwarmingskosten.



Figuur 1.2: Kerkbankverwarming eerste idee

Tijdens de studie van vorig jaar was er een doctoraat lopende in Nederland. De studie ging over “Bench Heating in Monumental Churches, Thermal Performance of a Prototype”. Betrokkenen van de werkgroep zijn dan ook naar de verdediging van deze doctoraatsthesis van Mevrouw Limpens-Neilen D. geweest. Het oorspronkelijke idee van bankverwarming met warme lucht werd stilaan beïnvloed door het idee van contactoppervlakteverwarming uit de doctoraatsthesis.

### **1.3 Bouw prototype**

Het was de bedoeling dat er een prototype gebouwd werd in de Sint Martinus kerk te Aalst. We hebben een budget ter beschikking gekregen van €10000:

Dit bedrag werd voor de helft betaald door:

- € 5000 van het Vlaams Instituut voor Onroerend Erfgoed (VIOE)
- € 5000 van de Kerkfabriek Aalst

Hieronder vindt u de kostenraming die in het begin van het project werd vooropgesteld. Kostenraming materiaal: (met studenten te monteren eventueel in samenwerking met externen)

Een kostenraming is moeilijk wegens verschillende onvoorspelbare factoren, bv. kunnen de in- en uitblaasroosters eenvoudig gehouden worden of moeten we de gebruikelijke elementen aankopen. Hoe dan ook wilden we de afwerkinggraad van het gestoelte beperken tot het louter functionele.

- Houten gestoelte 5x5m=25m<sup>2</sup> (in goedkoop geschaafd hout en multiplex) 1350 euro
- Aan en afvoerbuizen voor lucht 70 m en koppelstukken... 850 euro
- 70 In/uitblaasroosters(kan misschien ook simpeler)... 1800 euro
- Warmtepomp met splitunit Pw= 8,8 KW (bvb 40 DQV080) 4000 euro
- Bestaande elektriciteitsaansluiting (kabel en extra zekering)... ; 300 euro
- Meet- en registratieapparatuur... 800 euro
- Totaal 9100 euro

### **1.4 Planning**

We waren in juli 2006 al aangeduid voor de opdracht  
Ontwerp, voorstudie, bestelling, september /oktober 2006  
Plaatsing vanaf november tot december 2006  
Uittesten en metingen: januari /februari 2007

We hebben ons prototype in een zijbeuk mogen plaatsen (zie figuur 1.3)



Figuur 1.3: Plattegrond Sint Martinus kerk

Opstelling prototype

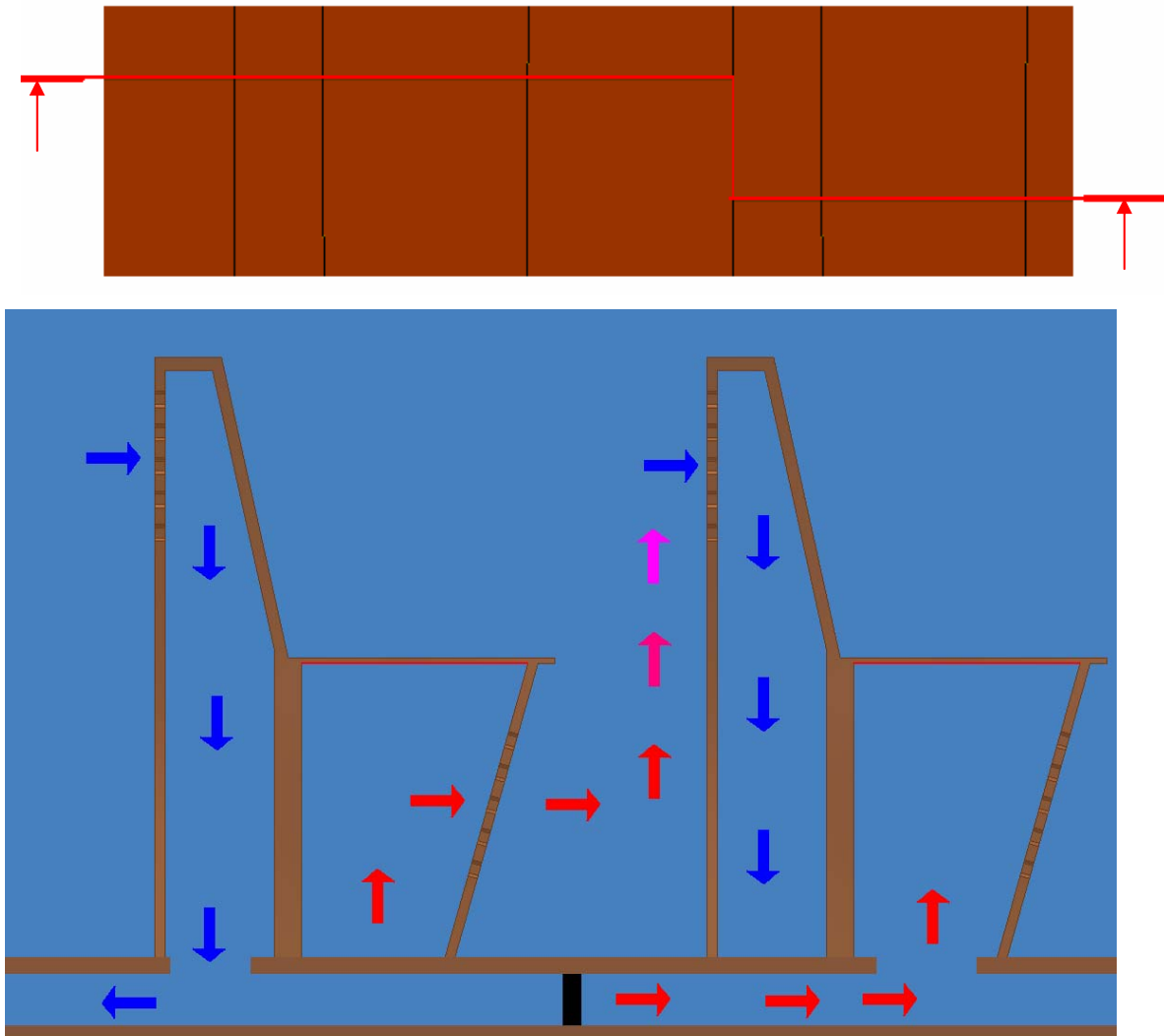
Plaats warmteproductie buiten warmtepomp

## 2. Banken met luchtverwarmingssysteem

### 2.1 Principe

Zoals eerder vermeld bestaat de opdracht erin om een verwarmingssysteem te ontwerpen en te realiseren in banken zodat de kerkgangers een comfortabel gevoel krijgen, doch moet ervoor gezorgd worden dat het erfgoed (ook de vloer) niet beschadigd wordt.

We zijn begonnen met een systeem dat lucht uitblaast op lage temperatuur en met lage snelheden ter hoogte van de benen van de kerkganger (zie figuur 2.1). Deze lucht kan dan bovenaan terug opgevangen worden, zodat er geen grote warmteverliezen in de kerk zelf zijn. Hiervoor werd gedacht om in de banken een soort van ventiloconvector te verwerken die dan aangesloten is op een complex intern buizennetwerk.



Figuur 2.1: Luchtcirculatie in en uit de banken

De ventiloconvector zou de afgekoelde lucht aanzuigen en dan opnieuw opwarmen en terug uitblazen. Hierbij moet rekening gehouden worden met twee zeer belangrijke factoren:

- Luchttemperatuur in de buurt van het menselijk lichaam
- Luchtsnelheid in de buurt van het menselijk lichaam

### **Luchttemperatuur**

Als de luchttemperatuur aan de uitblaasmonden te laag is, zal er niet genoeg warmte afgegeven worden en zal de persoon geen warmer, comfortabeler gevoel verkrijgen. Maar als de luchttemperatuur te hoog is dan zal de warme lucht veel te snel stijgen en bovendien zal de warmte ook niet meer kunnen gerecupereerd worden aan de zuigopeningen.

### **Luchtsnelheid**

De luchtsnelheid mag zeker voor lagere luchttemperaturen niet boven de 0,2m/s zijn. Want boven deze grens ervaren wij deze luchtverplaatsing als tocht en dus als onaangenaam tot zeer onaangenaam.

Vooraf omdat wij de lucht uitblazen aan de kanten van de personen is dit een zeer cruciale waarde waar zeker rekening mee moet gehouden worden.

## 2.2 Berekeningen

Er werden hier enkele waarden gekozen:

- Per persoon zal er op de bank een zitbreedte van ongeveer 62,5cm voorzien zijn, deze waarde is gebaseerd op metingen die we gedaan hebben op verschillende stoelen om de dimensies van de bank te bepalen.
- Uit het vorige eindwerk blijkt dat er ongeveer  $400 \frac{W}{m^2_{vloeroppervlak}}$  nodig is om te verwarmen, wij nemen ook deze waarde als basis om de eerste berekeningen te maken.

De bedoeling is om te weten hoeveel vermogen er nodig is per zitplaats, ook wordt het verlies aan temperatuur bepaald, hoe groot de luchtroosters ongeveer moeten zijn en als gevolg hoe groot dan de lichtsnelheid is.

Een persoon beschikt over een vloeroppervlakte van

$$0,625m \times 1,1m = 0,6875m^2$$

Per persoon denken we dus een verwarmingsvermogen nodig te hebben van

$$400 \frac{W}{m^2_{vloeroppervlak}} \times 0,6875m^2 = 275W$$

Uit de bovenstaande berekening halen we dat we ongeveer 275W per persoon zullen nodig hebben.



### 2.2.1 Bij een uitblaastemperatuur van 30°C en $\Delta t$ van 5°C

Berekening van het luchtdebiet per zitplaats met een  $\Delta t$  of temperatuursverschil van 5°C tussen de uitblaastemperatuur en de aanzuigtemperatuur.

Met een  $\Delta t$  van 5°C is er een verlies van ongeveer 16,7% van de warmte die de lucht bevat.

$$P = C \cdot \Delta t \cdot Q$$

$$Q = \frac{P}{C_{lucht} \cdot \Delta t} = \frac{0,275kW}{1,2kJ/m^3 \cdot ^\circ C \cdot 5^\circ C} = 0,05 m^3/s$$

Met

- P=0,275kW
- $\Delta t=5^\circ C$
- $C_{lucht}=1,2 kJ/m^3 \cdot ^\circ C$

Waarin:

$P$  : Vermogen in [kW]  
 $C$  : Volumieke warmtecapaciteit [ $kJ/m^3 \cdot ^\circ C$ ]  
 $\Delta t$  : Temperatuursverschil [ $^\circ C$ ]  
 $Q$  : Debiet [ $m^3/s$ ]

Uitblaas roosteroppervlak

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0,05 m^3/s}{0,2 m/s} = 0,26 m^2$$

Waarin:

$A$  : Oppervlakte [ $m^2$ ]  
 $Q$  : Debiet [ $m^3/s$ ]  
 $v$  : Snelheid [ $m/s$ ]

Dus bij een uitblaassnelheid van  $0,2 m/s$  hebben we een rooster nodig met een oppervlakte van  $0,26 m^2$ . Dit is heel groot, want dit zou overeenkomen met een rooster van 50 cm bij 52 cm dus dit is constructief bijna niet mogelijk.

We kunnen de luchtsnelheid vergroten

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0,05 \text{ m}^3/\text{s}}{0,4 \text{ m/s}} = 0,125 \text{ m}^2$$

Waarin:

$A$  : Oppervlakte [ $\text{m}^2$ ]

$Q$  : Debiet [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$v$  : Snelheid [ $\text{m/s}$ ]

We hebben de snelheid opgedreven naar 0,4 m/s. Daarvoor is een rooster van 50 cm bij 25 cm voldoende. Dit zou in de constructie passen, maar eerder is al vermeld dat de luchtsnelheid niet boven de 0,2 m/s mag komen en we werken hier met een luchtsnelheid van 0,4 m/s. Dit zou ervaren worden als tocht en dus als zeer onaangenaam. Deze optie werd niet weerhouden.

### 2.2.2 Bij een uitblaastemperatuur van 30°C en $\Delta t$ van 10°C

Berekening van het debiet met een  $\Delta t$  of temperatuursverschil van 10°C tussen de uitblaastemperatuur en de aanzuigtemperatuur.

Met een  $\Delta t$  van 10°C is er een verlies van ongeveer 25% van de warmte die de lucht bevat.

$$P = C \cdot \Delta t \cdot Q$$

$$Q = \frac{P}{C_{lucht} \cdot \Delta t} = \frac{0,275 \text{ kW}}{1,2 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{°C} \cdot 10^\circ \text{C}} = 0,0229 \text{ m}^3/\text{s}$$

Met

- $C = 1,2 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{°C}$
- $P = 0,275 \text{ kW}$
- $\Delta t = 10^\circ \text{C}$

Waarin:

$P$  : Vermogen in [kW]  
 $C$  : Volumieke warmtecapaciteit [ $\text{kJ/m}^3 \cdot \text{°C}$ ]  
 $\Delta t$  : Temperatuursverschil [ $^\circ \text{C}$ ]  
 $Q$  : Debiet [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0,0229 \text{ m}^3/\text{s}}{0,2 \text{ m/s}} = 0,1145 \text{ m}^2$$

Waarin:

$A$  : Oppervlakte [ $\text{m}^2$ ]  
 $Q$  : Debiet [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]  
 $v$  : Snelheid [ $\text{m/s}$ ]

Dus bij een snelheid van 0,2m/s hebben we een rooster nodig met een oppervlakte van 0,1145m<sup>2</sup>. Dit is ongeveer een rooster van 50 cm bij 23 cm. Het zou mogelijk zijn om dit in te bouwen in de constructie.

We kunnen de luchtsnelheid vergroten

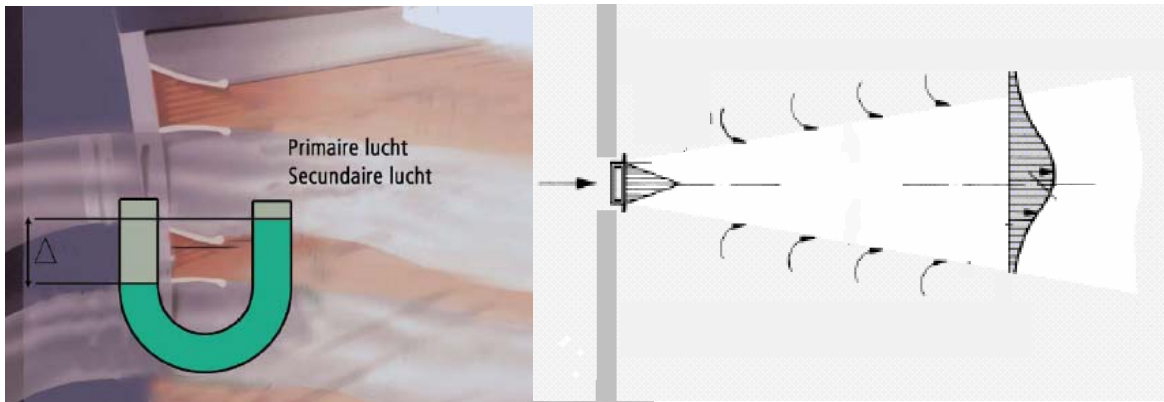
$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0,0229 \text{ m}^3/\text{s}}{0,4 \text{ m/s}} = 0,05725 \text{ m}^2$$

Terug met grotere luchtsnelheid is het mogelijk om het rooster kleiner te maken maar hier zit men opnieuw met het probleem dat de luchtsnelheid te hoog is en dus als onaangenaam zal worden ervaren.

### 2.3 Eerste proef opstelling

In een eerste test hebben we de warme lucht aangewend door een geperforeerde buis, zodat de warme lucht zich goed mengt met de omgevingslucht en men zo een goede menging verkrijgt. Dit verschijnsel wordt inductie genoemd.

Inductieverschijnsel:



Figuur 2.2: Schematische voorstelling inductieverschijnsel

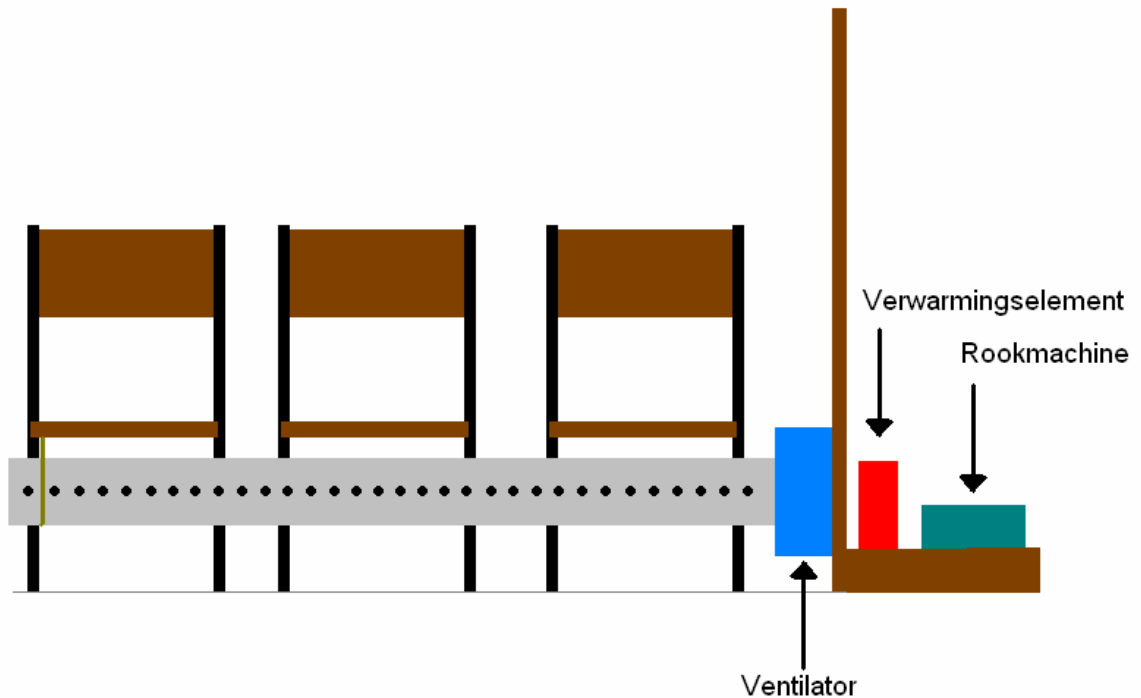
Door de lucht door een fijne opening te blazen ontstaat er een drukverschil in de luchtlagen. De primaire lucht (= uitgeblazen lucht) zuigt als het ware de secundaire lucht (= de lucht al aanwezig in ruimte) mee. Hierdoor verkrijgt men een snellere menging.

Op deze eigenschap hebben we ons gebaseerd en vervolgens een eerste proefopstelling gemaakt.

De opstelling werd gerealiseerd in het labo Bouw van de KAHO Sint- Lieven campus te Aalst. Het was de bedoeling na te gaan of we met dit principe een goed resultaat bekwamen om hierop verder te bouwen.

### 2.3.1 Gaatjesbuisopstelling (opstelling op 4-10-2006)

We hadden 51 gaatjes van 6mm geboord in een spiraal verzinkte buis ( $\varnothing = 150\text{mm}$ ) van 1,65m lengte. Dit hebben we afgeleid van een soort uitblaasrooster, gebaseerd op het inductieprincipe dat Dhr. De Nijs had gezien. De buis werd opgehangen aan 3 stoelen.

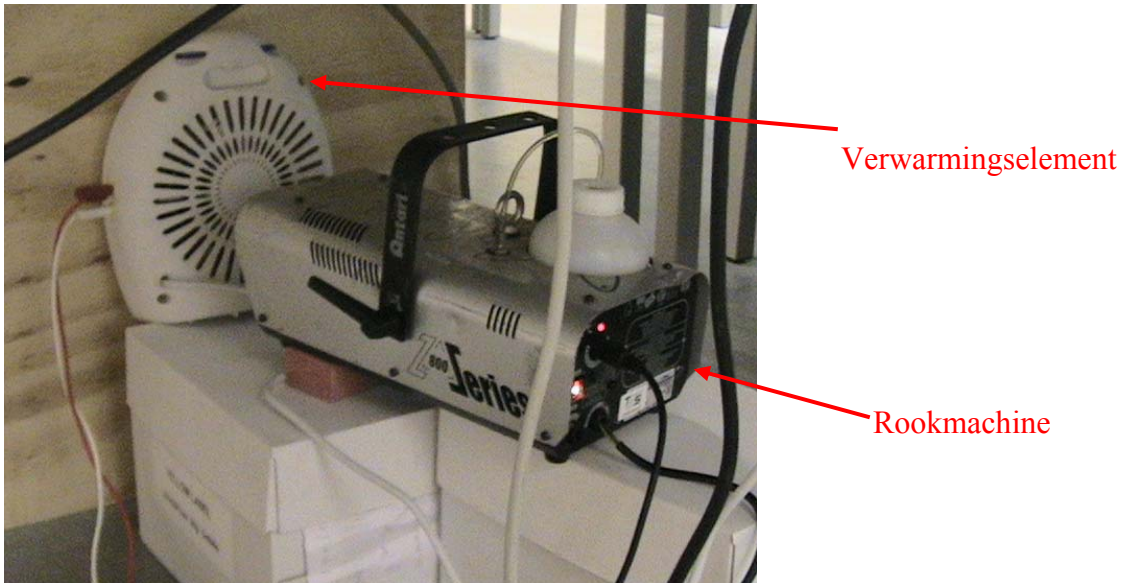


Figuur 2.3: Schematische voorstelling gaatjesbuisopstelling

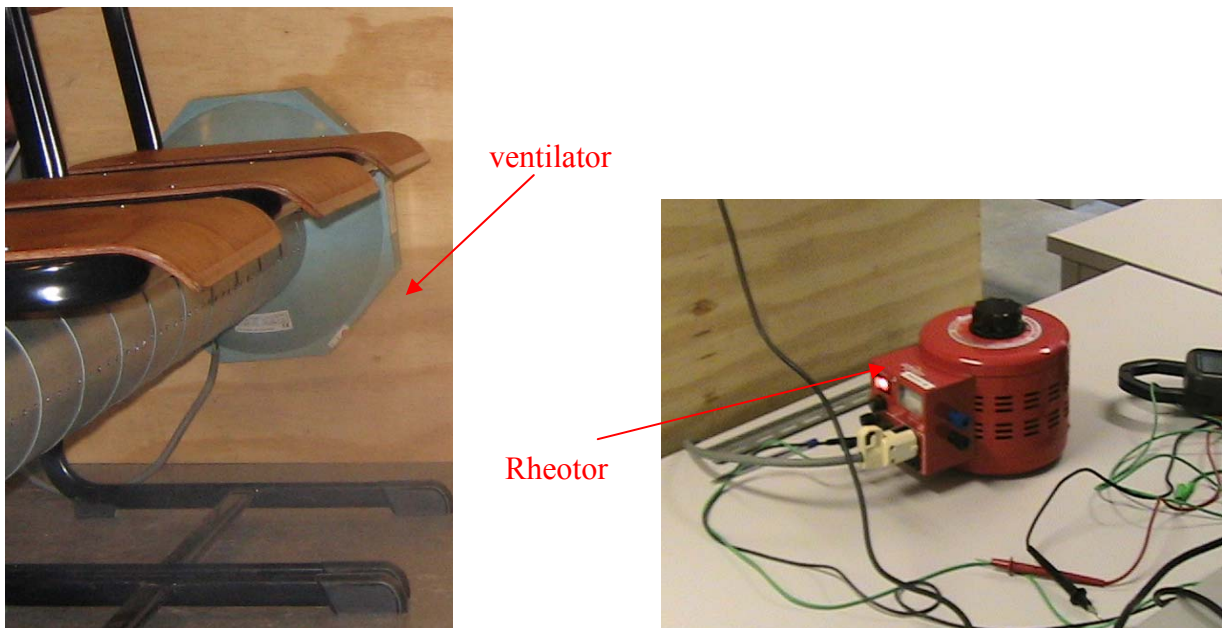


Figuur 2.4: Foto gaatjesbuisopstelling

We maakten gebruik van een elektrisch verwarmingselement van 2000W. De lucht werd door een ventilator (type Ruck RS160) in de buis geduwd. Het nominaal toerental van de ventilator is 2405 tr/min (Technische informatie zie bijlage I). De ventilator kunnen we regelen door deze aan te sluiten op een rheotor, zodat we de voedingsspanning van de ventilator kunnen beïnvloeden.



Figuur 2.5: Foto verwarmingselement en rookmachine



Figuur 2.6: Foto ventilator en rheotor

### 2.3.2 Meting van 1<sup>ste</sup> situatie

Omgevingstemperatuur is 22°C

Verwarmingselement staat op 15cm van ventilator.

Ventilator creëert een druk van 306Pa

Toerental van ventilator is 2621<sup>tr</sup>/min

Uitblaastemperatuur 42°C.

Hierdoor verkrijgen we een luchtsnelheid aan de benen  $> 6 \frac{m}{s}$

#### Conclusie

Dit is een veel te hoge snelheid, je voelt echt een grote luchtverplaatsing aan de benen. Het toerental van de ventilator is dus veel te hoog.

### 2.3.3 Meting van 2<sup>de</sup> situatie

Omgevingstemperatuur is 22°C

Verwarmingselement staat op 15cm van ventilator.

Ventilator creëert een druk van 107Pa

Toerental van ventilator is 1539<sup>tr</sup>/min spanning is 101.7V

Uitblaas temperatuur is 47°C.

P= 1000W

#### Berekening

$$P = C \cdot \Delta t \cdot Q$$

$$Q = \frac{P}{C_{lucht} \cdot \Delta t} = \frac{1000W}{1,2 \frac{kJ}{m^3 \cdot ^\circ C} \cdot (47^\circ C - 22^\circ C)}$$

$$Q = \frac{P \times 3600}{C_{lucht} \cdot \Delta t} = \frac{3600W}{1,2 \frac{kJ}{m^3 \cdot ^\circ C} \cdot (47^\circ C - 22^\circ C)} = 140 \frac{m^3}{h}$$

Met:

- $C_{lucht} = 1,2 \frac{kJ}{m^3 \cdot ^\circ C}$
- $P = 1000W$
- $t_{uitblaas} = 47^\circ C$
- $t_{omgeving} = 22^\circ C$

Waarin:

$P$  : Vermogen in [kW]

$C$  : Volumieke warmtecapaciteit [ $\frac{kJ}{m^3 \cdot ^\circ C}$ ]

$\Delta t$  : Temperatuurverschil [ $^\circ C$ ]

$Q$  : Debiet [ $\frac{m^3}{s}$ ]

Als we ervan uitgaan dat 1000W warmtetoevoer volstaat om drie kerkgangers op te warmen, zal dus een luchtdebiet van  $\frac{140 \text{ m}^3/\text{h}}{3 \text{ personen}} = 46 \text{ m}^3/\text{h}/\text{pers.}$  nodig zijn om deze warmte met een  $\Delta t$  van  $25^\circ\text{C}$  ( $T_{\text{pulsie}} = 47^\circ\text{C} \Rightarrow T_{\text{extractie}} = 22^\circ\text{C}$ ) aan te voeren.

### **Conclusie**

Dit is een hoge waarde en het is dus geen goed ontwerp. Er zou teveel lucht moeten verplaatst worden. De ventilator zou ook veel te groot zijn en zal navenant ook teveel decibels produceren.



### Ervaringen in de bank

Door de inductie koelde de lucht te snel af zodat de persoon de verwarming niet ervaart.



Figuur 2.7: Voorstelling 1 rook bij gaatjes buisopstelling

Positief was dat de worplengte gemakkelijk te halen was tot 1,5m lengte. En de warme lucht steeg langzaam langs de wand die zich voor de persoon situeert (aangeduid met rode pijl) omhoog, waar we normaal dan de lucht zouden terug aanzuigen om te recupereren.

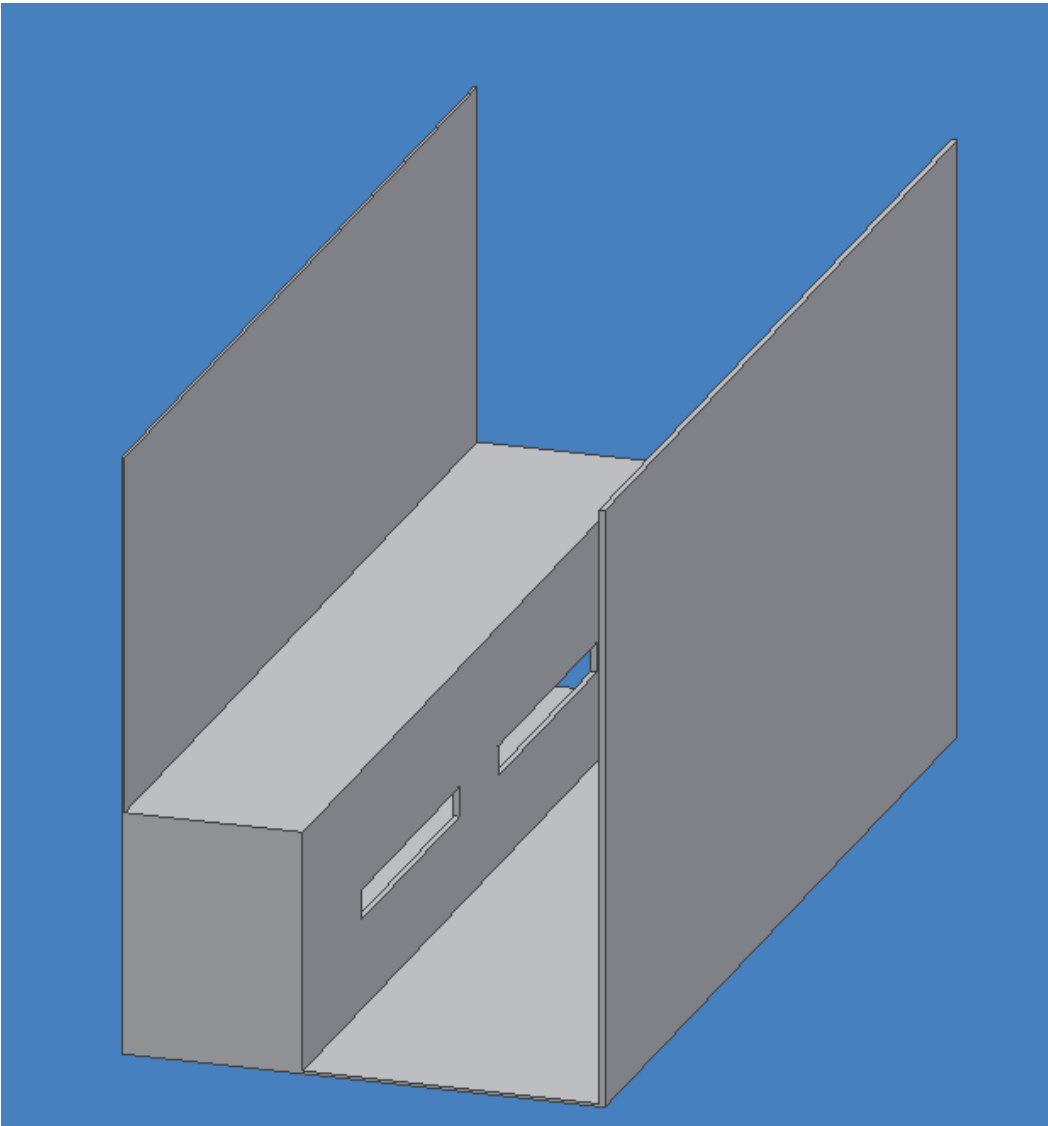


Figuur 2.8: Voorstelling 2 rook bij gaatjes buisopstelling

De inductie van de aanwezige omgevingslucht in de uitblaaslucht was in de vorige opstelling zo groot dat er twee grote problemen waren:

- De luchttemperatuur rond de benen was te laag en er ontstond tochtgevoel.
- Temperatuur extractielucht was te laag.

Daarom hebben we een tweede proefopstelling gemaakt. De inductie moest omlaag, hiervoor hebben we hout van de afdeling bouw verzaagd. Door enkele grotere openingen te maken wilden we de zijdelingse inductie wegwerken.



Figuur 2.9: Tweede opstelling lucht

Deze opstelling werd gemaakt en vervolgens konden we hierop metingen uitvoeren. Totale lengte van voorlopige bank is 2,44m

## 2.4 Proefopstelling 2

We hebben eerst geëxperimenteerd met een viertal openingen van 5cm op 5cm. De ventilator blaast de lucht in van de zijkant van de bank. In het begin was er nog geen extractie voorzien. De bank bood plaats aan 4 personen.

### 2.4.1 Meting 1 op 06-10-2006

Voor deze meting gebruikten we opnieuw dezelfde apparaten: de rheotor, ventilator RS160, elektrisch verwarmingselement en een rookmachine om de luchtstroom te visualiseren.



Figuur 2.10: Foto van opstelling, ventilator, verwarmings- en rookmachine

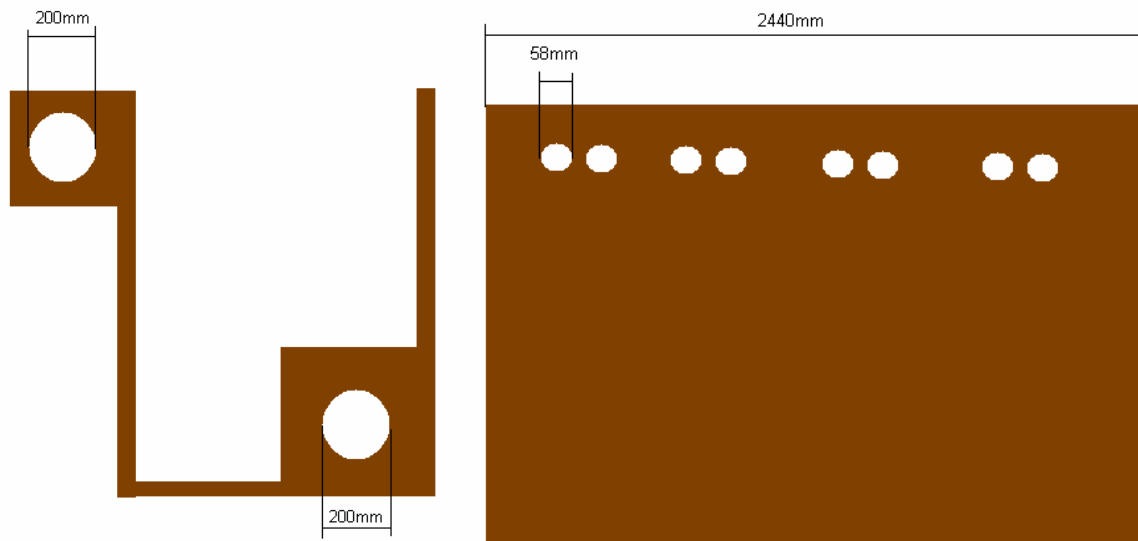
Bij de volledige 2000W verkregen we bij een omgevingstemperatuur van 22 °C een uitblaasttemperatuur van 50°C. De vermoedelijke recuperatietemperatuur gemeten waar we normaal de lucht zouden recupereren bedroeg tussen de 30°C en de 32°C.

We hebben een gemiddelde uitblaassnelheid van 0,47m/s. Dit komt overeen met ongeveer een debiet van  $10 \frac{m^3}{h} / \text{zitplaats}$  met de uitblaasmonden die we nu hebben.

Vervolgens meten we op volle snelheid van de ventilator een gemiddelde snelheid van 1,73m/s, dit komt overeen met een debiet van  $38 \frac{m^3}{h} / \text{zitplaats}$ . De uitblaasttemperatuur is nu 37°C en de vermoedelijke recuperatietemperatuur gemeten waar we normaal de lucht zouden recupereren bedroeg 28°C.

### 2.4.2 Meting 2 op 11-10-2006

Om een beter idee te krijgen van de hoeveelheid gerecupereerde lucht en de temperatuur ervan, hebben we de opstelling uitgebreid en een extractie voorzien. We hebben nog een extra ventilator, ook van het type RS160 gemonteerd en de extractie van 2 openingen van 58mm voorzien per zitplaats, dus 8 in totaal.



Figuur 2.11: Schematische voorstelling tweede opstelling



Figuur 2.12: Foto tweede opstelling

- Situatie 1

De omgevingstemperatuur bedraagt 20°C.

We hebben een uitblaas temperatuur van 30,3°C. Dit hebben we bekomen met behulp van halfgeleiders zodat het elektrische verwarmingselement maar 1000W heeft in plaats van 2000W. De gemeten snelheid is 4,34 m/s. Dit is een zeer hoge snelheid. We meten wel een recuperatietemperatuur van 25°C met een snelheid van 1,87m/s, dit werd gemeten aan de aanzuigopeningen.

**Opmerking**

De uitblaassnelheid is te hoog, wat resulteert in het te weinig recupereren. Hierdoor verkrijgen we een veel te grote  $\Delta t$  en zal er dus te veel warmte verloren gaan aan de omgevingslucht. Hiervoor zal er dus ook een te groot vermogen nodig zijn.

- Situatie 2

De omgevingstemperatuur bedraagt nog steeds 20°C.

We hebben enkel het extractiedebiet gewijzigd, dit hebben we gedaan door het toerental te verhogen.

Uitblaas temperatuur is nog steeds dezelfde. Het uitblaasdebiet is 24,42m<sup>3</sup>/h en het debiet van de extractie bedraagt nu 101,86m<sup>3</sup>/h.

**Opmerkingen**

Men heeft een koude gevoel op de kuiten. Dit kan te wijten zijn aan een te hoge lichtsnelheid en dus een ervaring van tocht.

Men ziet ook duidelijk door de rook dat er maar een fractie van de uitgeblazen lucht terug wordt gerecupereerd.

**Conclusie**

Extractie veel te groot en nog steeds gevoel van tocht aanwezig.  
Inductie werkt storend.

- Situatie 3

De omgevingstemperatuur bedraagt nog steeds 20°C.

We hebben de extractie verminderd en de uitblaastemperatuur verhoogd tot het maximum vermogen (namelijk 2000W). Met als gevolg een temperatuurstijging van de uitblaaslucht naar 49°C. We bekomen een uitblaas snelheid van 1,09m/s. De aanzuiglucht wordt aangezogen met een snelheid van 3,23m/s. Deze waarde is dus nog steeds veel hoger dan de snelheid van de uitblaaslucht. De aanzuiglucht heeft ook een temperatuur van 27°C. Dit wil zeggen dat er een temperatuur verschil van 22°C is, dit is dus heel wat.

**Conclusie**

Het temperatuurverschil (pulsie/extractie) is 22°C en is veel te groot. Dit wijst erop dat er te weinig lucht wordt gerecupereerd en er dus teveel warmte ontsnapt uit het bankenstelsel. Er blijft bovendien een onaangenaam tochtgevoel bestaan.



Figuur 2.13: Foto laatste wijziging tweede opstelling

Ten slotte hebben we ook nog een horizontaal plankje aangebracht om te trachten zoveel mogelijk lucht te recupereren. Maar dit had bijzonder weinig effect.

### **2.4.3 Algemene conclusie**

We hebben verschillende situaties gecreëerd. Nooit zijn we echt tot een comfortabele of tot een bijna comfortabele situatie gekomen. Telkens was er een tocht waar te nemen en werd door inductie te weinig lucht gerecupereerd.

Een te groot temperatuurverschil tussen de uitblaaslucht en de aanzuiglucht was het gevolg. Tot slot was er ook steeds een 'koude' gevoel ter hoogte van de borst en het hoofd.

We hebben het idee van de luchtverwarming dan ook verlaten om ons te concentreren op een stralingsverwarming (contactoppervlakteverwarming).

Ondertussen hadden we ook de doctoraatsthesis kunnen inkijken en werd in deze richting verder geëxperimenteerd.

### **3. Banken met contactoppervlakteverwarming**

Uit het vorige hoofdstuk is gebleken dat lucht niet voldeed om voldoende comfort te verzekeren aan de personen die op de banken zaten. Naar aanleiding van een vergadering op school hadden we een kleine opstelling gemaakt om te tonen aan onze opdrachtgevers hoe het principe er in werkelijkheid uitzag.

We hadden de verwarming aangestoken en waren alvast begonnen aan de vergadering. Na een half uur hebben we de vergadering even onderbroken om te kijken naar de opstelling. De aanwezigen waren aangenaam verrast. Het enige minpunt aan de opstelling was dat er een tochtgevoel was ter hoogte van het gezicht en borst.

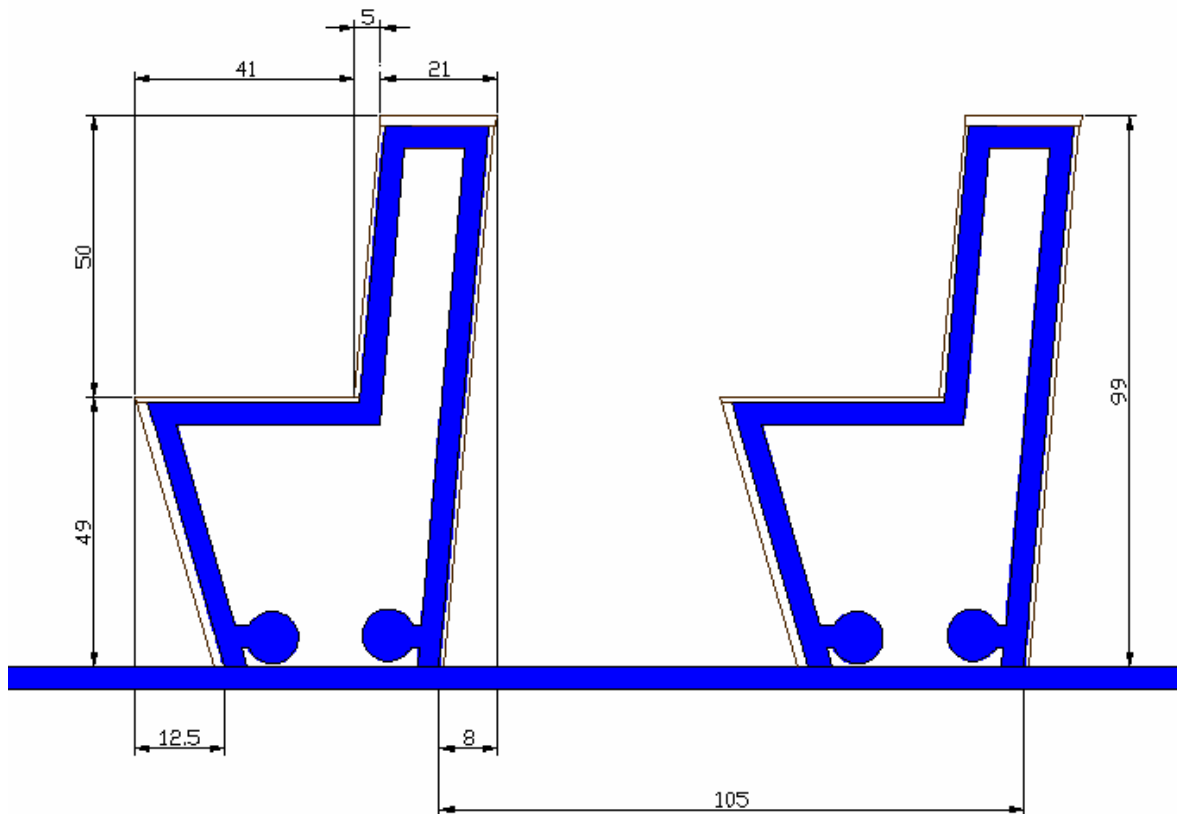
Wat wel werd opgemerkt was dat het hout van het zitvlak een aangenaam gevoel gaf. Dit was namelijk opgewarmd door de verwarmde lucht die onder het zitvlak passeerde. Iedereen vond dit wel aangenaam.

Hierdoor hebben we besloten om een manier te zoeken om het hout op te warmen en niet de lucht die rond de banken hangt.



### 3.1 Lucht als transportmedium

Met deze overtuiging zijn we begonnen aan het idee om een gesloten luchtcircuit te maken door de banken. Door de warme lucht die net onder de te verwarmen vlakken passeert zouden die vlakken vervolgens opgewarmd worden, wat dan een comfortabel gevoel zou moeten creëren.



Figuur 3.1: Schematische voorstelling contactoppervlakteverwarming met lucht

De opstelling zou bestaan uit 5 rijen waar telkens 7 personen kunnen op plaatsnemen. We voorzien overal vloer/wand verwarming die door middel van lucht onder het contactoppervlak stroomt. Doordat al deze oppervlakken door convectie en geleiding verder worden opgewarmd zal dit in een aangename oppervlaktetemperatuur resulteren. Door deze aangename oppervlaktetemperatuur zouden de kerkgangers dan een comfortabel gevoel verkrijgen.

### Het convectieverschijnsel

Convectie is een vorm van warmteoverdracht waarbij er een fysische verplaatsing van materie (moleculen) plaatsvindt, namelijk bij stoffen waarvan de moleculen onderling gemakkelijk verplaatsbaar zijn: gassen en vloeistoffen (bijvoorbeeld lucht).

Convectiestromen ontstaan wegens het verschil in soortelijke massa tussen de warme en de koude stof (denk aan stromingen in opwarmende vloeistoffen, de luchtstroom langs radiatoren, ...).

Men onderscheid trouwens:

- Natuurlijke convectie: louter gebaseerd op temperatuurverschillen
- Gedwongen convectie: hierbij wordt de beweging kunstmatig versterkt (pompen, ventilatoren, ...).

### De warmteoverdracht door convectie

De overgedragen warmte blijkt recht evenredig te zijn met het temperatuurverschil tussen beide media, wat leidt tot:

$$q_c = \alpha_c \cdot (t_1 - t_2)$$

Waarin:

$q_c$  : Warmtestroomdichtheid bij convectie  $[W/m^2]$

$\alpha_c$  : Warmte-overgangscoefficiënt  $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$

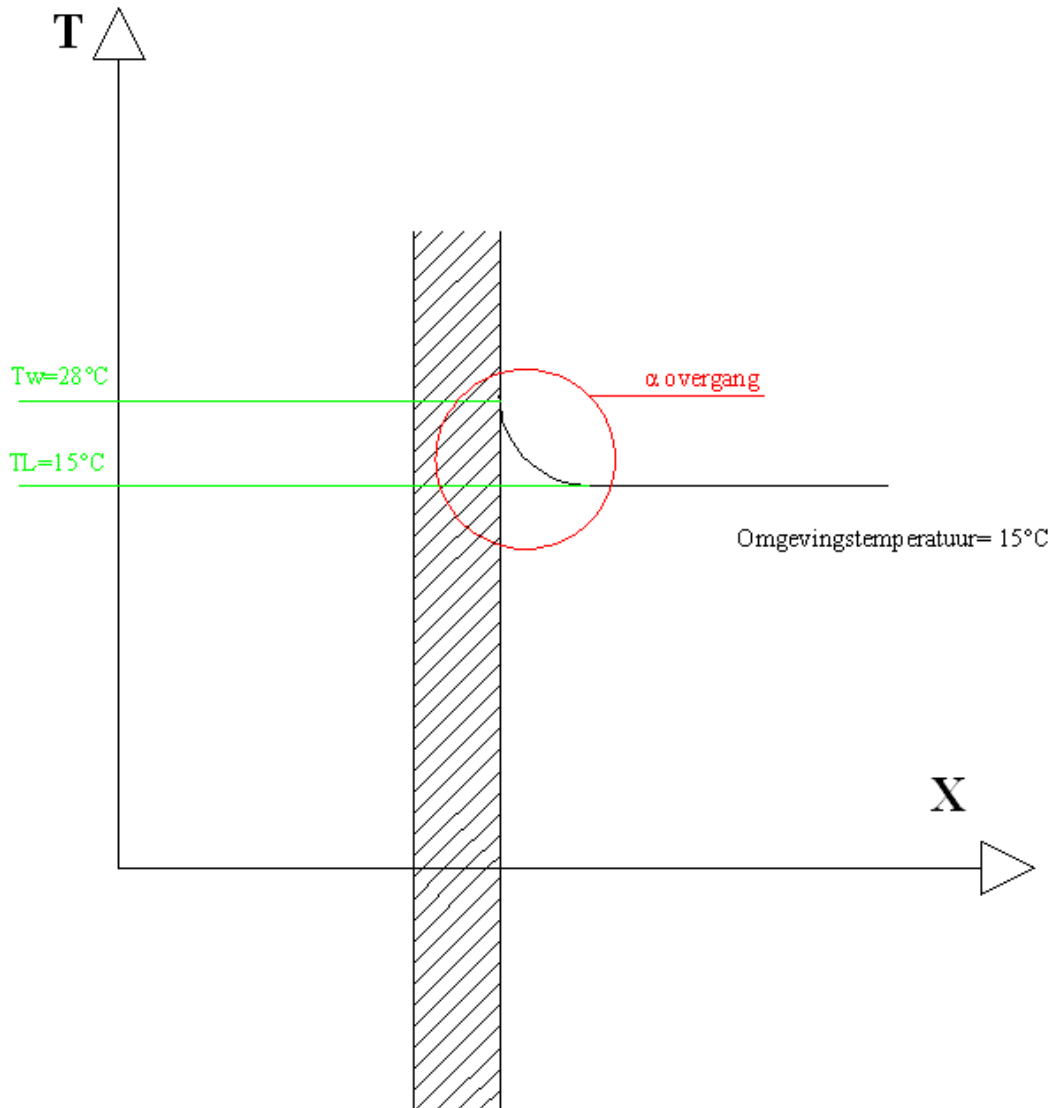
$t_1$  : Temperatuur  $[^\circ C]$

$t_2$  : Temperatuur  $[^\circ C]$

De warmte-overgangscoefficiënt wordt ook convectiecoëfficiënt genoemd.

De grootte van deze factor is afhankelijk van de snelheid waarmee het fluidum stroomt. In de volgende figuur (fig. 3.2) is het verband tussen  $\alpha_c$  en de lichtsnelheid  $v$  gegeven voor een verticaal vlak.

$$\text{Bij } v = 0 \text{ m/s} \rightarrow \alpha = 12 \text{ W/m} \cdot ^\circ C$$



Figuur 3.2: Schematische voorstelling  $\alpha$ -waarde

De maximum oppervlaktetemperatuur van de banken leggen we vast op 28°C. Dit is ook de maximale waarde dat het contactoppervlak mag bedragen bij een vloerverwarming. We weten nog niet of deze waarde hoger mag zijn of net lager moet zijn. Dus baseren we ons op de waarde van de vloerverwarming.

De omgevingstemperatuur in de kerk nemen we op 15°C. Dit is ook een waarde die verschilt van toepassingen in de gewone woningbouw, waar deze genomen worden op 20°C, maar uit het eindwerk van vorig jaar afgeleid nemen we de waarde van 15°C.

### Het geleidingsverschijnsel

Geleiding is die vorm van warmteoverdracht waarbij warmte wordt doorgegeven van molecule naar molecule zonder transport van materie. Dit type van overdracht is kenmerkend voor vaste stoffen.

De moleculen trillen om hun evenwichtstoestand (warmere meer dan koudere) en gaan hierbij de naastliggende moleculen aanstoten en eveneens meer doen trillen, enzovoort.

### Warmteoverdracht door geleiding

De warmtestroomdichtheid blijkt ook hier evenredig te zijn met het temperatuursverschil. Daarenboven is het ook logisch dat zowel de afstand waarover de warmte moet verplaatst worden als de geleidbaarheid van de stof de intensiteit van de stroom zal beïnvloeden.

Dit leidt ons tot:

$$q_g = \frac{\lambda}{d} \cdot (t_1 - t_2)$$

Waarin:

$q_g$  : Warmtestroomdichtheid bij geleiding  $[W/m^2]$

$\lambda$  : Warmtegeleidingscoëfficiënt  $W/m \cdot ^\circ C$

$d$  : Dikte van de materie  $[m]$

$t_1$  : Temperatuur  $[^\circ C]$

$t_2$  : Temperatuur  $[^\circ C]$

De grootheid  $\lambda$  is een materiaalconstante die de warmtegeleidingcoëfficiënt wordt genoemd en een maat is voor de gemakkelijker waarmee een homogene stof de warmte geleidt (doorlaat).

Onderstaande tabel bevat de gebruikte materiaalconstanten.

<b>Gebruikte materialen</b>	<b><math>\lambda</math> -waarde <math>[W/m \cdot ^\circ C]</math></b>
Multiplex	0,15
Polyethyleen	0,51
Staal	45

Figuur 3.3: Tabel  $\lambda$ -waarden

Dus voor de berekening, om de warmtestroom in kaart te brengen, gaan we als volgt te werk:

$$q_c = \frac{\Delta t}{R_{th}} = \frac{t_{opp} - t_{ruimte}}{\frac{1}{12}}$$

$$q_c = \alpha_c \cdot (t_{opp} - t_{ruimte})$$

$$q_c = 12 \cdot (28^\circ C - 15^\circ C)$$

$$q_c = 156 \text{ W/m}^2$$

Met

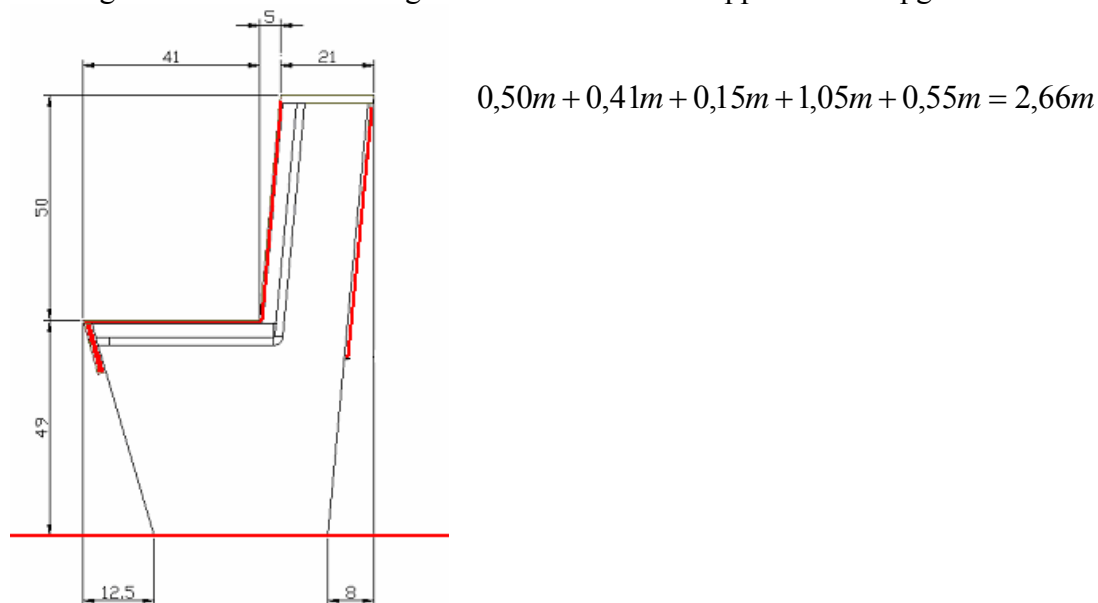
- $t_{opp} = 28^\circ C$
- $t_{ruimte} = 15^\circ C$
- $R_{th} = \frac{1}{12} \text{ m}^2 \cdot ^\circ C / W$
- $\alpha_c = 12 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C$

Waarin:

- $q_c$  : Warmtestroomdichtheid bij convectie [ $\text{W/m}^2$ ]
- $\Delta t$  : Temperatuursverschil [ $^\circ C$ ]
- $R_{th}$  : Oppervlakte-overgangswaarden [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ C / W$ ]
- $\alpha_c$  : Warmte-overgangscoefficiënt [ $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ C$ ]

We nemen hier een  $\alpha_c = 12 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C$ , dit is een vaste waarde bij een horizontaal oppervlak zoals bij vloerverwarming. Normaal is deze waarde ongeveer rond de  $100 \text{ W/m}^2$  maar doordat we nu met een lagere omgevingstemperatuur zitten van  $15^\circ C$  bekomen we ook een hogere waarde.

Hieruit volgt dan ook de berekening om te weten te komen hoeveel maximum vermogen er mogelijk is per zitplaats. We hebben een breedte van 60 cm per persoon gerekend. Vervolgens hebben we alle lengtes van de verwarmde oppervlakten opgeteld.



Figuur 3.4: Bank met verwarmde oppervlakken

Als we deze waarde dan vermenigvuldigen met de breedte van de zitbank bekomen we de totale oppervlakte die kan verwarmd worden per persoon.

$$2,66m \cdot 0,6m = 1,60m^2$$

Met deze waarden kunnen we dan vervolgens het maximum vermogen per zitplaats berekenen.

$$\Rightarrow 1,6m^2 / \text{zitplaats} \cdot 156W/m^2 = 250W / \text{zitplaats}$$

Een zitplaats neemt een grondoppervlak van  $1,05m \cdot 0,6m = 0,63m^2$  in. Dit betekent dat met

$$\text{deze verwarming} \frac{250W / \text{zitplaats}}{0,63m^2 / \text{zitplaats}} = 397W / m^2_{\text{vloeroppervlak}} \text{ kan gehaald worden.}$$

Is deze waarde voldoende?

Kerk	St. Amandus	Averbode	St. Pieter	H. Hart	Leuven
Soort verwarming	Warme lucht +vent plafond	Mahr	Luchtgroepen +vloerkanalen	Vloerverw. Met lucht	Vloerv. water
Ruimte-temperatuur		14 à 15 °C	15 à 18 °C	12 à 18°C	12°C
Bezetting	16u/week	continu	30 u/week continu	16 u/week continu	continu
Jaarlijks Verbruik	187.000 kWh 17.000 m³ incl. netto 1300 m³?	180.000 kWh 18.000 liter	326.348 kWh 29.668 m³	513.000 kWh 46.666 m³ 14.000 euro Incl. zaal	
m³ gas/ m² vloer	21	15	15	46	
Geïnstalleerd vermogen	400 kW	300 kW	604 kW	470 kW	
Vloeroppervlakte	600 m² ?	1.300 m²	1.900 m²?	1.000 m²	900 m²
Max Hoogte		22 m			
Volume		27.000 m³			
Glasramen	enkel	enkel	Deels dubbel	Dubbel	enkel

Figuur 3.5: Tabel vermogen bij verschillende kerken

Uit het eindwerk van vorig jaar halen we een tabel die de verschillende vermogens per kerk vergelijkt ten opzichte van elkaar. Hieruit berekenen we hoeveel vermogen per vierkante meter er nodig is om deze kerken te verwarmen.

$$\text{St. Amandus: } \frac{400kW}{600m^2} = 0,666kW/m^2 = 666W/m^2_{\text{vloeroppervlak}}$$

$$\text{Averbode: } \frac{300kW}{1300m^2} = 0,230kW/m^2 = 230W/m^2_{\text{vloeroppervlak}}$$

$$\text{St. Pieter: } \frac{604kW}{1900m^2} = 0,317kW/m^2 = 317W/m^2_{\text{vloeroppervlak}}$$

$$\text{H. Hart: } \frac{470kW}{1000m^2} = 0,470kW/m^2 = 470W/m^2_{\text{vloeroppervlak}}$$

### **Besluit**

Als we onze berekende waarde vergelijken met de waarden uit de tabel constateren we dat onze waarde zeker aannemelijk is en dus ook niet overdreven is.

Indien we gebruik maken van een warmtepomp lucht-lucht en we willen met een behoorlijke COP waarde werken, is de maximale luchttemperatuur van de pulsie  $40^{\circ}\text{C}$ . Deze waarde komt voort uit de omgevingstemperatuur  $+10^{\circ}\text{C}$ . Omgevingstemperatuur wordt hier uiteraard in de slechtste conditie genomen.

Als we de lucht op  $40^{\circ}\text{C}$  aanvoeren en deze 100% terugnemen aan bijvoorbeeld  $35^{\circ}\text{C}$  is het nodige luchtdebiet per persoon:

$$P = C \cdot \Delta t \cdot Q$$

$$Q = \frac{P}{C_{\text{lucht}} \cdot \Delta t}$$

$$Q = \frac{0,250\text{kW}}{1,2\text{kJ}/\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot 5^{\circ}\text{C}}$$

$$Q = 0,042 \frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{persoon}} \rightarrow 150 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{persoon}}$$

Met

$$C_{\text{lucht}} = 1,2\text{kJ}/\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 5^{\circ}\text{C}$$

$$P = 0,250\text{kW}$$

Waarin

- $P$  : Vermogen in  $[\text{kW}]$
- $C$  : Volumieke warmtecapaciteit  $[\text{kJ}/\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}]$
- $\Delta t$  : Temperatuursverschil  $[^{\circ}\text{C}]$
- $Q$  : Debiet  $[\text{m}^3/\text{s}]$

Als we dit vermenigvuldigen met het aantal zitplaatsen

$$(7\text{ zitplaatsen} \cdot 5\text{ rijen} = 35\text{ zitplaatsen})$$

Het totale debiet wordt dan

$$Q_{\text{tot}} = 150 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{persoon}} \cdot 35\text{ personen} = 5250 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Dit is een extreem grote waarde voor deze toepassing, Men moet bedenken dat dit een ventilator is van het type die instaat voor de luchtcirculatie in een klein auditorium van 120 personen.

Voorlopig kunnen we besluiten dat het debiet drastisch moet dalen of het temperatuursverschil tussen de uitblaas en de aanzuig moet stijgen.

We laten nu het temperatuurverschil van de lucht stijgen. De aanvoerlucht houden we op  $40^{\circ}\text{C}$  en de hernomen lucht nemen we  $30^{\circ}\text{C}$  in plaats van  $35^{\circ}\text{C}$ . Dit leidt tot een halvering van het debiet.

$$P = C \cdot \Delta t \cdot Q$$

$$Q = \frac{P}{C_{\text{lucht}} \cdot \Delta t}$$

$$Q = \frac{0,250\text{kW}}{1,2\text{kJ}/\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot 10^{\circ}\text{C}}$$

$$Q = 0,021 \frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{persoon}} \rightarrow 75 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{persoon}}$$

Met:

$$C_{\text{lucht}} = 1,2\text{kJ}/\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 5^{\circ}\text{C}$$

$$P = 0,250\text{kW}$$

Waarin

$P$  : Vermogen in  $[\text{kW}]$

$C$  : Volumieke warmtecapaciteit  $[\text{kJ}/\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}]$

$\Delta t$  : Temperatuurverschil  $[^{\circ}\text{C}]$

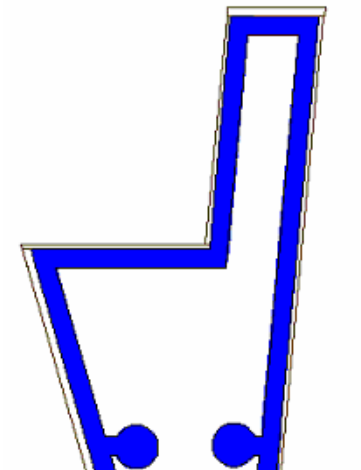
$Q$  : Debiet  $[\text{m}^3/\text{s}]$

Het totale debiet wordt dan

$$Q_{\text{tot}} = 75 \frac{\text{m}^3/\text{u}}{\text{persoon}} \cdot 35 \text{ personen} = 2625 \frac{\text{m}^3}{\text{u}}$$

Dit resultaat is nog steeds vrij groot maar misschien toch nog realiseerbaar. Het nadeel waarmee we zullen geconfronteerd worden is dat de rugleuning een lagere luchttemperatuur aangeboden krijgt. Om toch de nodige warmtestroom te behouden kunnen we de plank aan de rugzijde iets dunner kiezen.

We zouden bijvoorbeeld kunnen kijken voor een ander soort materiaal, waardoor dit verlies aan temperatuur tenietgedaan wordt door een lagere warmteweerstand van het materiaal.



Figuur 3.6. Schematische voorstelling contactoppervlakteverwarming met lucht

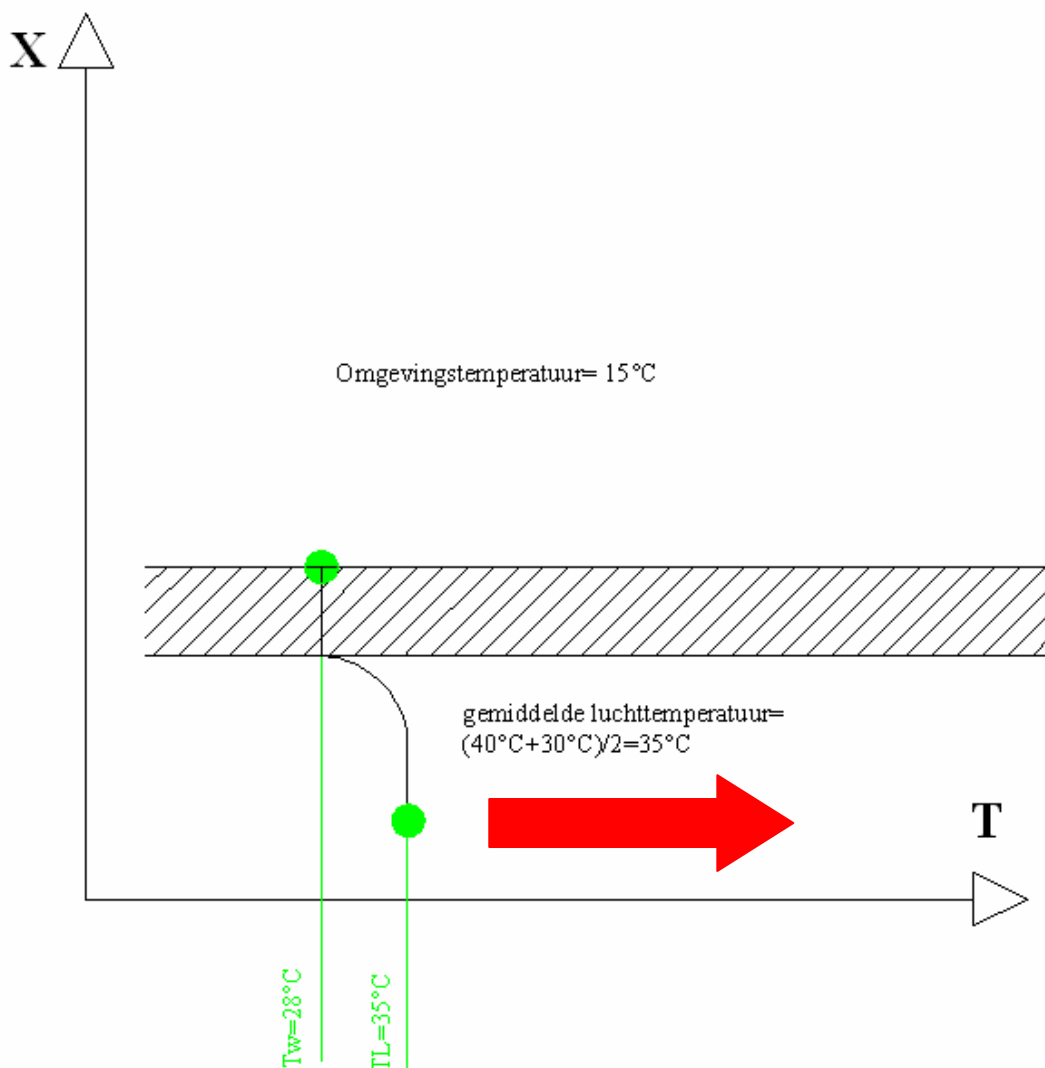


### Berekening van de warmtestroom door een horizontale multiplex plaat van 18mm

De multiplex plaat heeft een  $\lambda$ -waarde van  $0,15 \frac{W}{m \cdot K}$  (zie figuur 3.3) en een dikte van  $18 \text{ mm}$ . Vervolgens nemen we een interne luchtsnelheid van  $2 \frac{m}{s}$ . Bij deze snelheid bedraagt de  $\alpha$ -waarde  $12 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ . De luchttemperatuur heeft een gemiddelde waarde van  $35^\circ\text{C}$  en als oppervlaktetemperatuur nemen we weer  $28^\circ\text{C}$ .

De formule om de warmtestroom per zitplaats te berekenen ziet er als volgt uit:

$$\Phi = k \cdot A_{\text{zitplaats}} \cdot (t_{\text{lucht}} - t_{\text{hout}})$$



Figuur 3.7: Schematische voorstelling  $\alpha$ -waarde bij lucht als contactoppervlakteverwarming

De k-waarde wordt berekend

$$k = \frac{1}{\frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_c}}$$

$$k = \frac{1}{\frac{0,018m}{0,15W/m \cdot ^\circ C} + \frac{1}{12}} = \frac{1}{0,12 + 0,083} = \frac{1}{0,203}$$

$$k = 4,93W/m^2 \cdot ^\circ C$$

Met

- $A_{\text{zuplaats}} = 1,60m^2$
- $t_{\text{lucht-gem}} = \frac{(40^\circ C + 30^\circ C)}{2} = 35^\circ C$
- $d = 0,018m$
- $\lambda = 0,15W/m \cdot ^\circ C$
- $\alpha_c = 12W/m^2 \cdot ^\circ C$

Waarin

$A$  : Oppervlakte in  $[m^2]$   
 $t$  : Temperatuur in  $[^\circ C]$   
 $d$  : Dikte in  $[m]$   
 $\lambda$  : Warmtegeleidingscoëfficiënt in  $[W/m \cdot K]$   
 $\alpha_c$  : Warmte-overgangscoefficiënt  $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$

$$\Phi = k \cdot A \cdot \Delta t$$

Met

$$\Phi = 4,93W/m^2 \cdot ^\circ C \cdot 1,60m^2 \cdot (35^\circ C - 28^\circ C)$$

$$\Phi = 55,22W$$

- $k = 4,93W/m^2 \cdot ^\circ C$
- $A = 1,60m^2$
- $\Delta t = (35^\circ C - 28^\circ C)$

Waarin

$\Phi$  Warmtestroom in  $[W]$   
 $k$  Warmtetransmissiecoëfficiënt in  $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$   
 $A$  Oppervlakte  $[m^2]$   
 $\Delta t$  Temperatuurverschil  $[^\circ C]$

Dit is heel wat minder dan de (in punt 3.2) berekende waarde van 250W en waarschijnlijk dienen enkele factoren aangepast te worden om het nodige vermogen te kunnen halen.

Als we bij hetzelfde luchtdebiet terugvoertemperatuur van de lucht verhogen, zal op zijn beurt de gemiddelde warme luchttemperatuur stijgen en dus ook het afgegeven vermogen. Er stelt zich dus een evenwicht in.

Dit kan berekend worden als volgt:

Om de warmtestroom per vierkante meter te verhogen en toch een oppervlaktetemperatuur van  $28^{\circ}\text{C}$  te behouden kunnen we in principe

- De gemiddelde luchttemperatuur verhogen. Bij eenzelfde maximum pulsietemperatuur van  $40^{\circ}\text{C}$  wil dit zeggen dat de lucht warmer moet terugkeren. Dit kan enkel door het ventilatordebiet op te voeren en dit debiet is nu al vrij hoog.
- De k-waarde te verhogen. Hier zijn weer verschillende mogelijkheden. Ofwel gebruiken we een dunnere plaat dan  $18\text{mm}$ , ofwel gebruiken we een materiaal die de warmte beter geleidt. We kunnen de luchtsnelheid verhogen aan de binnenwand zodat de  $\alpha$ -waarde van  $12 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$  verder stijgt. Een ander materiaal is te duur en te moeilijk in gebruik en dus uitgesloten. Dunnere plaat kan stabiliteitsproblemen geven maar kan zeker voor de verticale delen. Dit moet wel nagegaan worden.
- De luchtsnelheid opvoeren aan de wand kan door de lucht via een smalle opening langs de binnenwand te geleiden.

Willen we bij eenzelfde luchtdebiet de warmtestroom verhogen zullen we dus een combinatie van verschillende oplossingen moeten gebruiken.

Opdrijven van de luchtsnelheid:

Bij de voorgaande berekening was de  $\alpha$ -waarde  $= 12 \frac{W}{m^2} \cdot K$  geldig bij een snelheid van  $2 \frac{m}{s}$ .

De lucht passeert door een gleuf ( $75 \frac{m^3}{h}$ ), de breedte ligt vast door de afmeting van de bank dus kunnen we enkel de gleufhoogte wijzigen.

Berekenen van de gleufhoogte voor een luchtsnelheid van  $2 \frac{m}{sec}$ :

$$Q = A \cdot v$$

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{75 \frac{m^3}{h}}{3600 \cdot 2 \frac{m}{s}} = 0,104 m^2$$

Waarin:

$A$  : Oppervlakte [ $m^2$ ]

$Q$  : Debiet [ $\frac{m^3}{s}$ ]

$v$  : Snelheid [ $\frac{m}{s}$ ]

Voor een gleufbreedte van  $0,6m$  is de nodige hoogte dus  $\frac{0,104 m^2}{0,6m} = 0,173m = 17,3cm$

Willen we een verhoogde  $\alpha$ -waarde, dan zullen we de gleuf moeten versmallen om zo de snelheid te doen stijgen.

Bij een snelheid van  $4 \frac{m}{sec}$  wordt de breedte:

$$Q = A \cdot v$$

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{75 \frac{m^3}{u}}{3600 \cdot 4 \frac{m}{s}} = 0,0052 m^2$$

Voor een gleufbreedte van  $0,6m$  is de nodige hoogte dus  $\frac{0,0052 m^2}{0,6m} = 0,0086m = 0,86cm$

Als we de  $\alpha$ -waarde nu kennen, kunnen we de berekening van  $k$ -waarde, ... herhalen. Maar aangezien de hoogte van de gleuf nu nog amper  $8,6$  mm bedraagt, is dit zeer moeilijk te realiseren.

**Besluit:**

Met oppervlakteverwarming kan in een kerk tot 250 W per zitplaats geleverd worden maar om dit met lucht als transportmedium te bereiken zijn talrijke praktische bezwaren. We vermoeden dat 250 W nodig is, maar weten eigenlijk niet of de berekende 55,22 W (inclusief beperkingen) toch niet zou volstaan. Ook door de kleine hoogte van de gleuf en de redelijk hoge lichtsnelheid zal er hoogstwaarschijnlijk geluidshinder zijn.

Bovendien zal het energieverbruik van de ventilator door de toegenomen ladingsverliezen van de smalle gleuf extreem toenemen. Het is gekend dat distributiesystemen met lucht een tienvoudig energieverbruik van de ventilator hebben ten opzichte van systemen met een waterpomp.

## **3.2 Water als transportmedium**

Het is ook mogelijk om een circuit in de banken te monteren waardoor warm water stroomt. Het is gebaseerd op het principe van vloerverwarming. Het grote voordeel hiervan is dat water een grotere warmteoverdrachtscoëfficiënt heeft dan lucht. Een ander voordeel is dat men geen geluidshinder zal ondervinden van de watercirculatie. Er zijn verschillende manieren om vloerverwarming te realiseren.

Hier zijn enkele mogelijkheden:

### **3.2.1 Nat vloerverwarmingssysteem**

#### **3.2.1.1 Principe**

De benodigde warmte wordt via een laag temperatuur vloerverwarmingssysteem aan de te verwarmen ruimte afgegeven. Bij een buitentemperatuur van minus 10 °C mag de vloeroppervlaktetemperatuur in de verblijfszones de 28°C niet overstijgen. In de sanitaire ruimtes en randzones mag deze temperatuur echter gecontroleerd tot maximum 33°C oplopen.

Om een goede temperatuurspreiding te bereiken, dient er voor elk lokaal individueel, door de leverancier van het vloerverwarmingssysteem, een warmteverlies berekening en een verlegplan te worden gemaakt. Aan de hand van dit verlegplan wordt bepaald welke afstand er tussen de polyethyleenleidingen dient gehouden te worden om aan de warmtebehoefte per ruimte te voldoen.

De buislengtes worden per kring opgemeten. Geen enkele kring mag de lengte van 120m overschrijden. Het drukverlies per kring mag niet meer dan 300mbar bedragen. Op het verlegplan worden tevens, indien nodig, de uitzetvoegen uitgetekend.

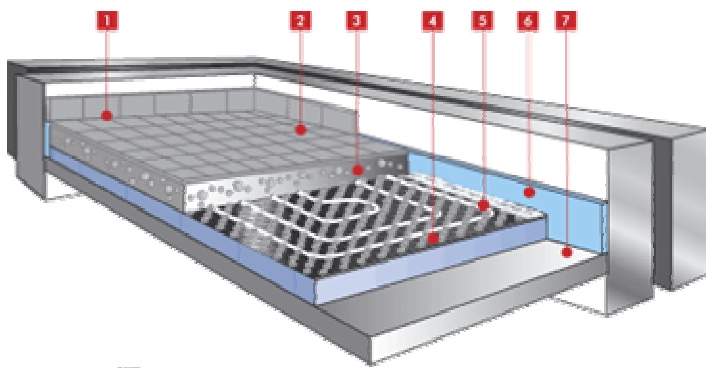
Voor de aanvang van de werken dient de aannemer van de vloerverwarming of de technisch verantwoordelijke van de bouwheer, een tabel voor te leggen. Deze lijst omvat het vermogen van elke kring, de lengte, het debiet en het drukverlies.

Bij installatie mag er nooit worden afgeweken van het verlegplan zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever of zijn technisch verantwoordelijke.

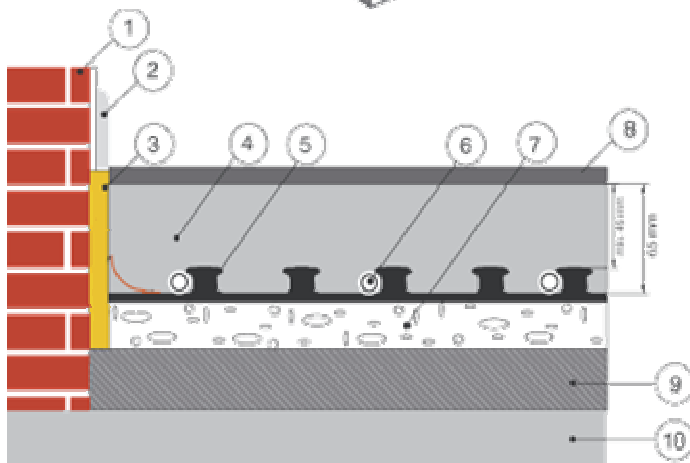
Na plaatsing worden alle vloerverwarmingssystemen gedurende 36 uren onder een druk van 6kg/cm geplaatst. Pas als na deze test blijkt dat er gedurende deze test periode geen drukverliezen zijn op getreden, mag de eindlaag worden aangebracht.

### 3.2.1.2 Thermoduct eco-systeem

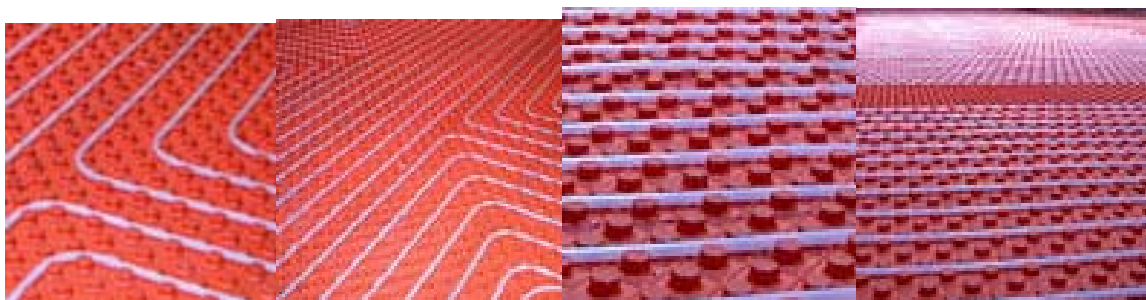
Het grote voordeel van een Thermoduct eco-systeem tegenover een de traditionele verwerking op staalnetten, het droge systeem of het takkersysteem is de snelle installatieprocedure. Bij het Thermoduct Eco-systeem plaatst men de vloerisolatie, dampfolie en buisbevestiging in één beweging. Men spaart dus een ruime hoeveelheid werkuren uit.



De snelle plaatsing van een ecosysteem is een van zijn belangrijkste troeven. De noppenplaat is voorzien van een dampscherm tegen het opstijgende vocht en ze worden tand/groef geplaatst.



1. muur
2. plint
3. randisolatie
4. cementdekvloer (chape)
5. voorgevormde polystyreenfolie (nop)
6. Diffu-Pex buis
7. voorgevormde NP systeemplaat
8. vloerafwerking
9. uitvulling
10. draagwelfsel



Figuur 3.8: Thermoduct eco-systeem

### **3.2.1.3 Profi-systeem**

Indien er geopteerd wordt voor een Polyurethaan schuimisolatie, isolerende uitvullingschape of vlakke isolatieplaten, kan voor de bevestiging van de vloerverwarming gewerkt worden met het Profi-systeem.

In tegenstelling tot het Reno -en Eco systeem vereist de plaatsing van profiellatten geen perfect vlakke ondergrond.

Bij dit systeem worden de profiellatten op de isolatie bevestigd. De vloerverwarmingsbuizen worden daarna volgens het uitgetekende verlegplan gemonteerd. Bij dit systeem moet men rekening houden met 7 cm beschikbare hoogte te rekenen vanaf de isolatie.



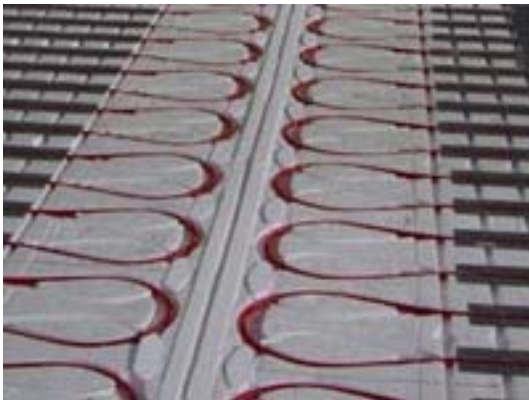
### 3.2.2 Droog vloerverwarmingssysteem

Een droog vloerverwarmingssysteem garandeert de beste warmteverdeling en is dan ook het neusje van de zalm.

Zelfs daar waar vloerverwarming onmogelijk lijkt omwille van te klein beschikbare opbouwhoogte biedt deze toch een kwaliteitsoplossing.

Door de droge verlegging van de vloerverwarmingbuis in speciaal door Thermoduct ontworpen warmtegeleidende kanalen, in combinatie met de warmteverdelingsafdekplaat en de geprofileerde systeemplaten zijn zij in staat voor elke vraag een betrouwbaar systeem voor te stellen.

Bij het Reno-vloerverwarmingssysteem komen de buizen niet in aanraking met de cementdekvloer (chape). Dit in tegenstelling met het Eco -en Profi systeem. De minimum beschikbare vloerhoogte die men nodig heeft om dit systeem te plaatsen is 6 cm.



Figuur 3.9: Foto principe droog vloerverwarmingssysteem

We hebben een paar keer een bezoek gebracht aan het bedrijf die bovenstaande producten levert. We hebben er de verschillende mogelijkheden bestudeerd en gekeken of ze praktisch te realiseren zijn met ons bankenstelsel. We hebben uiteindelijk gekozen voor het **droog vloerverwarmingssysteem**.

Verder volgt een technische beschrijving van dit systeem.

### 3.2.3 Technische beschrijving

#### **Inleiding:**

We hebben uiteindelijk voor dit systeem gekozen omdat dit droge systeem het best moduleerbaar was naar onze banken. Door het systeem samen te drukken tussen twee houten platen zorgen we voor een goede warmte overdracht. Dankzij de isolatieplaten moeten we ons geen zorgen meer maken om nog bijkomend te isoleren.

#### **Isolatie:**

De extra vloerisolatie is vervaardigd uit CFK-vrij geëxpandeerd polystyreen met een dichtheid van minimum 25kg/m<sup>3</sup>.

Bij niet-verwarmde lokalen wordt er gewerkt met isolatieplaten van 6cm, boven verwarmde lokalen is een isolatiedikte van 3cm voldoende.

De vloerisolatie wordt steeds aangebracht op een afgestreekte beton- of egalisatielaag waarbij de vooropgestelde paslijn overal werd gerespecteerd.

#### **Randisolatie:**

Alle muren, kolommen, trappen deuropeningen e.a., welke in contact komen met de cementdekvloer (chape) of de dekvloer, worden voorzien van ononderbroken stroken randisolatie.

Deze randisolatie is vervaardigd uit polystyreen en heeft een hoogte van 150mm en een dikte van minimum 4mm.

#### **Buizen:**

De vloerverwarmingsbuis, van het type Ve/pe-oc, wordt vervaardigd uit een speciaal voor vloerverwarming ontwikkelde DOWLEX polyethyleen MD korrel, volgens de DIN 16833<sup>e</sup> norm. Om een optimale diffusiedichtheid te kunnen garanderen wordt de buis voorzien van een EVAL diffusiedichtheidslaag conform de DIN/MPA-NRW norm 4726/4729. De buitendiameter is 18 mm en de wanddikte bedraagt steeds 2mm. De buis dient in België vervaardigd te worden.

#### **Geprofileerde Systeemplaten:**

Om een zeer beperkte vloeropbouw te kunnen garanderen wordt er gewerkt met geprofileerde systeemplaten, vervaardigd uit geëxpandeerd polystyreen met een dichtheid van 23/25kg/m<sup>3</sup>. De geprofileerde platen zijn zodanig ontwikkeld dat de vloerverwarmingsbuizen op geen enkel punt kunnen kruisen, wat mechanische beschadiging van de diffusielaag uitsluit.

Afhankelijk van de warmtebehoefte wordt er gewerkt met A10 of A20 platen. De fabrikant stelt de installateur een verlegplan ter beschikking waarop wordt ingetekend welke systeemplaten en welke verlegafstanden er voor de buizen dient gerespecteerd te worden.

### **Gegalvaniseerde warmtegeleidingkanalen:**

Daar waar de vloerverwarmingsbuis zal geplaatst worden, worden er overal gegalvaniseerde geleidingskanalen in geklikt. Deze kanalen zijn vervaardigd uit koud gegalvaniseerde staalplaat met een dikte van 0,5mm.

De kanalen zijn zo geconstrueerd dat de vloerverwarmingsbuis er perfect kan in worden vast gedrukt zonder enig mechanisch hulpmiddel. 5cm voor de plaats waar de buizen een bocht maken worden er geen warmtegeleidingkanalen meer geplaatst.

### **Gegalvaniseerde afdekplaten:**

Om de warmte geleiding zo egaal mogelijk te krijgen wordt de totale oppervlakte van het systeem afgedekt met gegalvaniseerde platen van 100cm x 100cm (plaatdikte van 0,5mm) Deze platen overlappen elkaar minimum 10cm.

### **Dampscherm:**

Over de gegalvaniseerde afdakplaten wordt er een polyethyleen afdekfolie met een dikte van 0,2mm geplaatst. Deze stroken worden gelegd met een overlapping van 10 à 15 cm.

### **Verdeler-collector:**

De vertrek- en terugvoercollector zijn vervaardigd uit ontzinkingsbestendig gegoten messing en worden samengesteld uit elementen met een diameter van 5/4" met 2-3-4-5-6-7 of 8 uitgangen, welke in serie worden geplaatst. Deze elementen zijn zodanig gevormd dat er een constante drukverdeling alsook debietverdeling over de volledige lengte van de collector wordt bereikt.

Per kring wordt er een apart terugvoer- en vertrekelement voorzien. Per vertrek wordt er een ingebouwde regelbare afsluiter met debietregelaar voorzien en een ingebouwde afsluitbare, motoriseerbare, koppeling op elke terugvoer. De aansluitschroefdraad mag enkel van het type euroconus, conform Europese eenheidsnorm, zijn.

Verder dienen zowel aanvoer als terugvoer voorzien te zijn van hoofdafsluitkranen met uni-koppeling, uitgerust voor eventuele thermometeraansluiting, alsook van automatische ontluchter en vul- aftapkraan.

Het collectorframe wordt minimum 60 cm boven de vloerisolatie gemonteerd.

### **Montage:**

Het installatiebedrijf is verplicht gebruik te maken van de door de fabrikant speciaal voor dit systeem ontwikkeld installatiegereedschap of gebruik te maken van de door deze aangeboden formule "levering en plaatsing tot einde collector".

**Kan dit vloerverwarmingssysteem het nodige vermogen leveren?**

Een vloerverwarmingssysteem (in functie van banken) is een ideale verwarming voor zover de maximale oppervlaktetemperatuur niet wordt overschreden. Voor een vloer waarop mensen rondlopen is de maximum temperatuur op 28°C vastgelegd. Bij een omgevingstemperatuur van 20°C is er dus een  $\Delta t=8^\circ\text{C}$ . Per vierkante meter vloeroppervlak wordt de warmte afgifte dus bepaald door de  $\alpha$ -overgangscoefficiënt tussen vloer en lucht zodat:

$$Q = \frac{(T_{vloer} - T_{lucht})}{\frac{1}{12}} \approx 100 \text{ W/m}^2$$

De situatie van de banken is verschillend:

- de omgevingstemperatuur is lager dan 20°C
- De maximum oppervlaktetemperatuur van materialen waar mensen op zitten is waarschijnlijk anders dan deze waarop mensen rondlopen (28°C)
- Er zijn ook verticale wanden en daar is de  $\alpha$ -waarde anders.
- Het is gekend bij vloerverwarming in hoge ruimtes dat er tocht kan ontstaan. Hoe zal dit hier kunnen vermeden worden?

Benodigd vermogen per zitplaats:

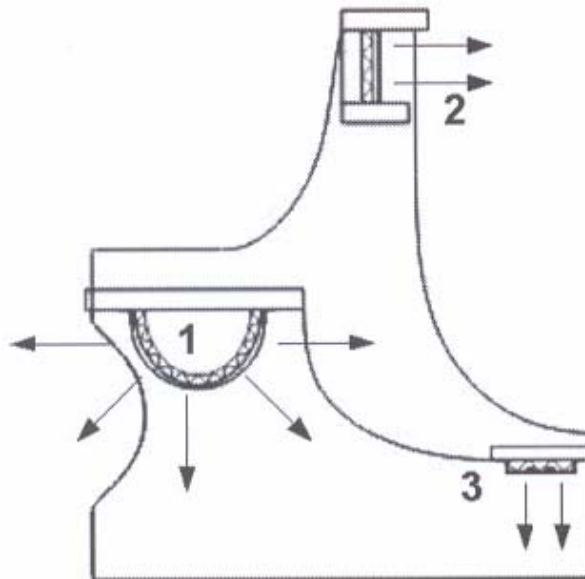
- Volgens eindwerk vorig jaar 374W/zitplaats (zie hoofdstuk 3.1)
- Volgens Mevrouw Limpens-Neilen
  - zitvlak: 2 stroken van 0,99m met elk een vermogen van 155W
  - hand verwarming: 1 strook van 2m met een vermogen van 290W
  - kniel verwarming: 1 strook van 1,95m met een vermogen van 290W

Vervolgens zetten we dit om bij benadering per bank (lengte 2m):

Zitvlak	310W
Hand verwarming	290W
Kniel verwarming	280W
Totaal voor 1 bank	880W

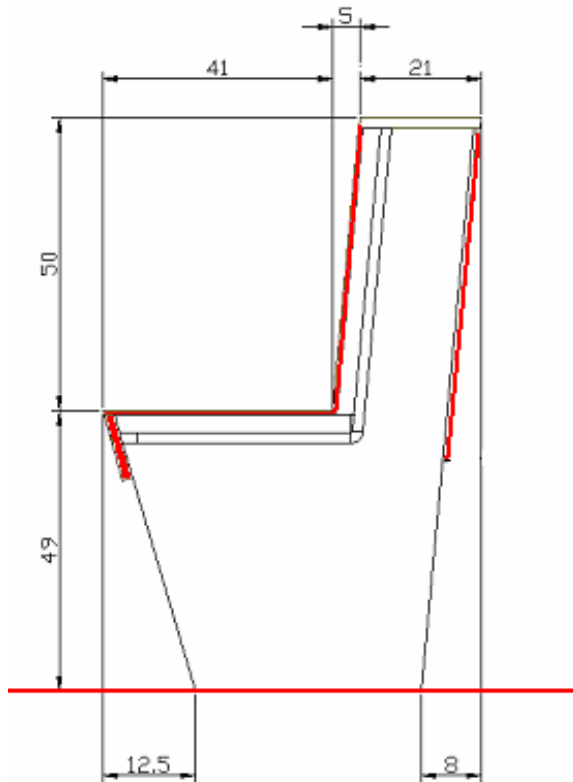
Dit geëxtrapolleerd naar onze toepassing:

$$0,6m \text{ per zitplaats } \frac{880W \cdot 0,6m}{2m} = 264W/\text{zitplaats}$$



Figuur 3.10: Plaatsing van verwarmingselementen bij doctoraatsthesis

- Met alleen vloerverwarming (zonder oppervlakteverwarming in de banken) is het mogelijk om per zitplaats  $1,1m \cdot 0,6m \cdot 156 \frac{W}{m^2} = 103 \frac{W}{zitplaats}$ .
- Met het principe van vloerverwarming toegepast in alle mogelijke onderdelen van de bank.



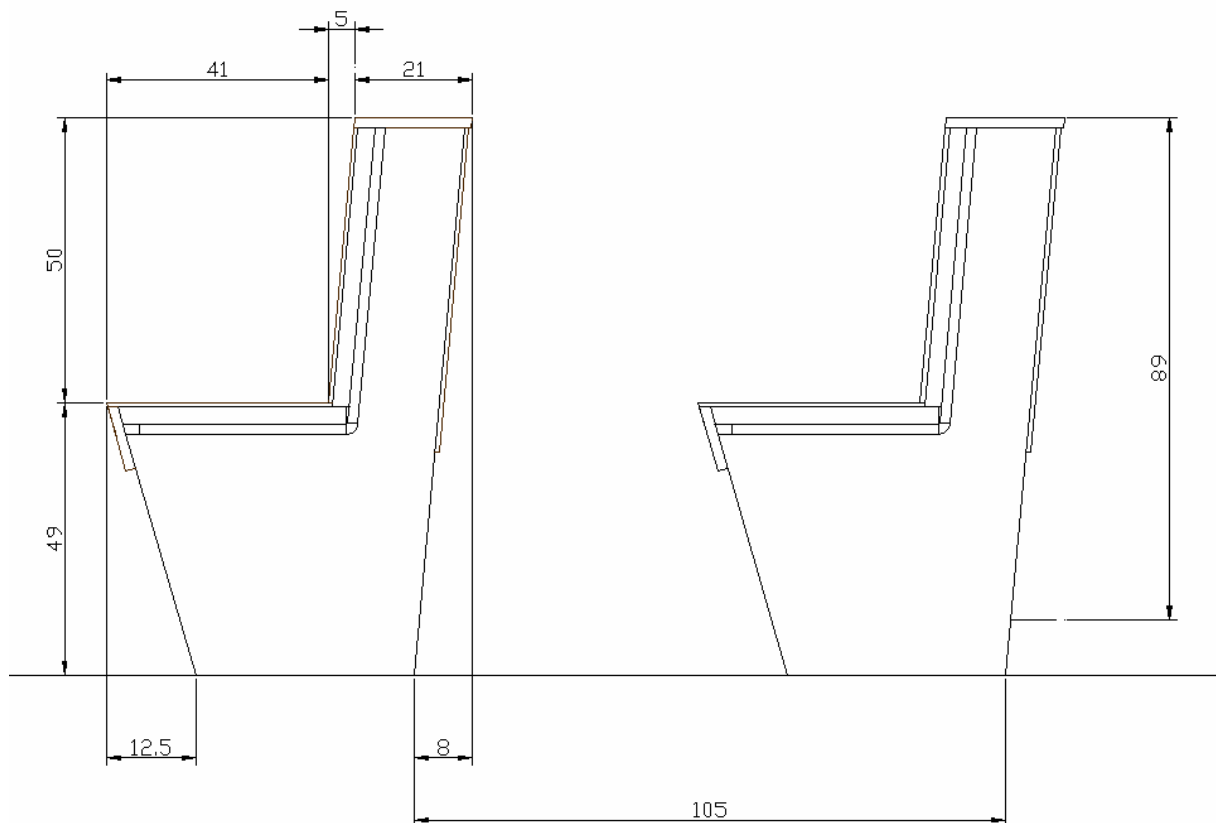
Figuur 3.11: Bank met verwarmde oppervlakken

$$1,6m^2 \cdot 156 \frac{W}{m^2} = 250 \frac{W}{m^2}.$$

### 3.3 Berekeningen

Het prototype zou bestaan uit een opstelling van 5 bankenrijen. Op elke rij kunnen er 7 personen plaatsnemen. Aangezien we per persoon 60 cm rekenen bekomen we een totale breedte van 4,2 m voor het bankenstelsel.

Aangezien we niet goed tot een besluit konden komen in verband met de afmetingen van de zitplaatsen, is Dhr. De Nijs naar de abdij van Averbode geweest, om daar de banken op te meten. Op deze afmetingen (uitgedrukt in centimeter) hebben we ons dan ook gebaseerd om de banken verder te ontwerpen (mail zie bijlage II).



Figuur 3.12: Ontwerp maten van de banken

Het verwarmde oppervlak per persoon bedraagt:

$$0,5m + 0,41m + 0,15m + 1,05m + 0,55m = 2,66m$$

Beschikbare oppervlakte per persoon:

$$2,66m \cdot 0,6m = 1,60m^2$$

Dus per persoon is er een oppervlakte van 1,60 m<sup>2</sup> om te verwarmen.  
Mogelijke warmtestroom per vierkante meter zonder inboeten aan comfort

$$q_c = \frac{\Delta t}{R_{th}} = \frac{t_{opp} - t_{ruimte}}{\frac{1}{12}}$$

Met

- $t_{opp} = 28^\circ C$
- $t_{ruimte} = 15^\circ C$
- $R_{th} = \frac{1}{12} m^2 \cdot ^\circ C / W$
- $\alpha_c = 12 W / m^2 \cdot ^\circ C$

$$q_c = \alpha_c \cdot (t_{opp} - t_{ruimte})$$

$$q_c = 12 \cdot (28^\circ C - 15^\circ C)$$

$$q_c = 156 W / m^2$$

Waarin:

$q_c$  : Warmtestroomdichtheid bij convectie  $[W / m^2]$   
 $\Delta t$  : Temperatuursverschil  $[^\circ C]$   
 $R_{th}$  : Oppervlakte-overgangsweerstanden  $[m^2 \cdot ^\circ C / W]$   
 $\alpha_c$  : Warmte-overgangscoefficiënt  $[W / m^2 \cdot ^\circ C]$

Mogelijke warmtestroom per zitplaats

$$\Rightarrow 1,60 m^2 / zitplaats \cdot 156 W / m^2 = 250 W / zitplaats$$

Per zitplaats wordt een grondoppervlak van  $1,05m \cdot 0,6m = 0,63m^2$ . Dit betekent dat men

een waarde van  $\frac{250 W / zitplaats}{0,63 m^2 / zitplaats} = 397 W / m^2_{vloeroppervlak}$  heeft.



Indien we met een warmtepomp water-lucht zouden werken moeten we er rekening mee houden dat we een maximale watertemperatuur hebben van  $45^{\circ}\text{C}$ .

Als we het water op  $45^{\circ}\text{C}$  aanvoeren en deze terugnemen aan bijvoorbeeld  $40^{\circ}\text{C}$  is het nodige debiet per persoon

$$P = c \cdot \Delta t \cdot Q$$

$$Q = \frac{P}{c_{\text{water}} \cdot \Delta t}$$

$$Q = \frac{0,250\text{kW}}{4,2\text{kJ/l} \cdot \text{K} \cdot 5^{\circ}\text{C}}$$

$$Q = 0,012 \text{ l/s/persoon} \rightarrow 0,72 \text{ l/min/persoon}$$

Met

$$c_{\text{water}} = 4,2 \text{ kJ/m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 5^{\circ}\text{C}$$

$$P = 0,250\text{kW}$$

Waarin

$P$  : Vermogen in  $[\text{kW}]$

$c$  : Soortelijke warmtecapaciteit  $[\text{kJ/m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}]$

$\Delta t$  : Temperatuursverschil  $[^{\circ}\text{C}]$

$Q$  : Debiet  $[\text{m}^3/\text{s}]$

Als we dit vermenigvuldigen met het aantal zitplaatsen

(7 zitplaatsen  $\cdot$  5 rijen = 35 zitplaatsen)

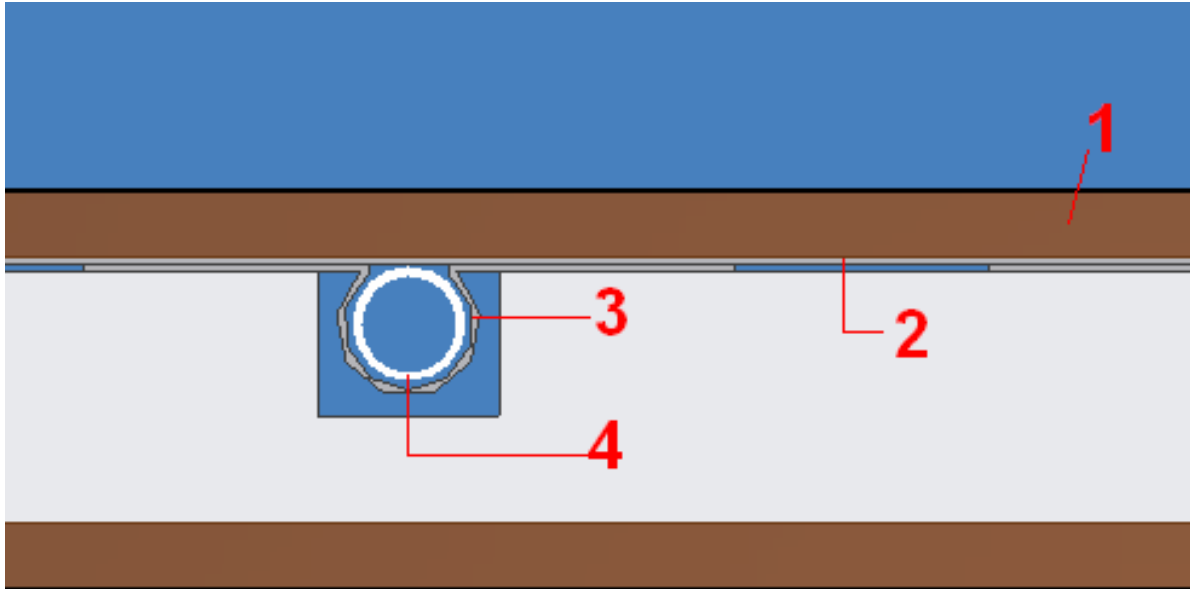
Het totale debiet voor de ganse bank wordt dan

$$Q_{\text{tot}} = 0,72 \text{ l/min/persoon} \cdot 35 \text{ personen} = 25,2 \text{ l/min} = 1,51 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dit is een zeer aannemelijke waarde en dus zal het waterdebiet geen probleem veroorzaken voor de praktische uitwerking.

### Berekening van de warmtestroom

Met het vloerverwarmingssysteem moet de warmtestroom meerdere stoffen passeren, dit allemaal gebaseerd op geleiding. Vervolgens berekenen we de warmtestroom die we kunnen bereiken (met een watertemperatuur  $45^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$  in regime) in onze banken met het gekozen droog vloerverwarmingssysteem.



Figuur 3.13: Schematische voorstelling droge vloerverwarming in onze banken

Op bovenstaande tekening kan je duidelijk zien vanuit de buis door welke materialen de warmtestroom moet vloeien:

- 1: Multiplex plaat  $\lambda = 0,15 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  van  $8 \text{ mm}$  dikte.
- 2: Stalen verzinkte plaat  $\lambda = 45 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  van  $0,5 \text{ mm}$  dikte.
- 3: Stalen verzinkt profiel  $\lambda = 45 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  van  $0,5 \text{ mm}$  dikte.
- 4: Waterbuis polyethyleen  $\lambda = 0,51 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  van  $2 \text{ mm}$  dikte.

Vervolgens kunnen we met deze waardes de k-waarde berekenen om dan de warmtestroom te berekenen.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \sum \frac{d}{\lambda}}$$

$$k = \frac{1}{\frac{0,008m}{0,15W/m \cdot ^\circ C} + \frac{0,0005m}{45W/m \cdot ^\circ C} + \frac{0,0005m}{45W/m \cdot ^\circ C} + \frac{0,002m}{0,51W/m \cdot ^\circ C}}$$

$$k = \frac{1}{0,053W/m^2 \cdot ^\circ C + 0,00001W/m^2 \cdot ^\circ C + 0,00001W/m^2 \cdot ^\circ C + 0,0039W/m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$k = \frac{1}{0,05692W/m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$k = 17,56W/m^2 \cdot ^\circ C$$

Nu de k-waarde berekend is kunnen we verder gaan om de warmtestroom  $\Phi$  te berekenen.

$\Phi = k \cdot A_{zitplaats} \cdot \Delta t$	Met
$\Phi = 17,56W/m^2 \cdot ^\circ C \cdot 1,60m^2 \cdot (42,5^\circ C - 28^\circ C)$	$k = 17,56W/m^2 \cdot ^\circ C$
$\Phi = 379,5W$	$A_{zitplaats} = 1,60m^2$
	$\Delta t = (42,5^\circ C - 28^\circ C)$

Waarin

- $\Phi$  Warmtestroom in [W]
- $k$  Warmtetransmissiecoëfficiënt in  $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$
- $A$  Oppervlakte [ $m^2$ ]
- $\Delta t$  Temperatuursverschil [ $^\circ C$ ]

Deze waarde ligt boven de voorop gestelde 379,5W, dus dit is eigenlijk zeer goed. We hebben een aannemelijk debiet van  $25,2 \frac{l}{min}$  en een maximum warmtestroom van  $\Phi = 379,5W$ . Dus zullen we deze waarden als basis nemen om onze proefopstelling verder uit te werken.

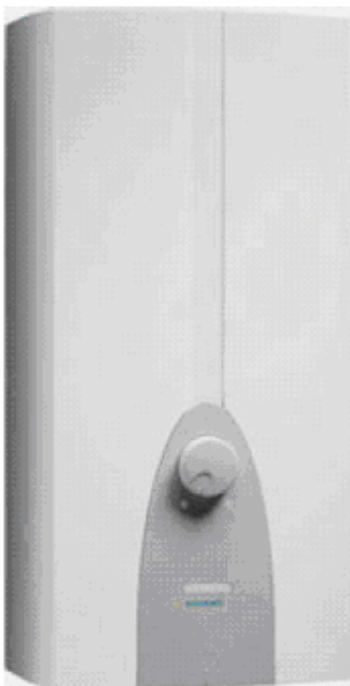
### 3.4 Bepalen van verwarmingssysteem

#### 3.4.1 Mogelijke warmteproductiesystemen

We zijn op zoek naar een toestel dat warm water levert met een temperatuur rond 45°C. We weten dat er verschillende mogelijkheden zijn. We zullen er enkele onderzoeken.

#### Doorstromer

Een elektrische doorstromer is een toestel die zijn warm water levert op het moment dat er warm water gevraagd wordt. Er is geen mogelijkheid om warm water op te slaan. Hieronder kan je een voorbeeld zien van een doorstromer met zijn technische gegevens.



#### Technische gegevens:

Elektrische aansluiting:	3P-400V, 35/40A
Wateraansluitingen:	G 1/2" A
Afmetingen:	47.2 x 23.6 x 13.9 cm
Beschermingsklasse:	IP25
Max. waterdruk:	10 Bar

CLICKFIX®-Montagesysteem voor snelle montage.

Warmwater opbrengst:	13,2 liter/min.
Watertemperatuur:	regelbaar

Automatische vermogensaanpassing voor constante temperatuur van het uitstromende water.

Figuur 3.14: Elektrische doorstromer

Het toestel op zich is niet groot want het is gemaakt om in een keukenkast te bouwen. Dit zou het misschien mogelijk maken om het toestel in de banken te verwerken. Het enige dat je nodig hebt is een elektrische kabel. Alle waterleidingen kunnen in het bankenstelsel verwerkt worden.

Er zijn wel enkele minpunten aan dit toestel. We zitten met een elektrische verwarming wat wordt beschouwd als een zeer dure manier van verwarming. Het debiet van de pomp zal niet voldoen om het water door de banken te laten vloeien. We hebben een debiet nodig van  $25,2 \frac{l}{min}$  (zie hoofdstuk 3.2 Berekeningen) en we beschikken slechts over een debiet van  $13,2 \frac{l}{min}$ . In het watercircuit zullen we dus voor enkele extra onderdelen moeten zorgen. We zullen zeker en vast voor een buffervat moeten zorgen, dit om de temperatuurschommelingen van het water op te vangen. We moeten ook een extra bypass pomp installeren om het nodige debiet te halen.

## **Besluit**

Het geïnstalleerd elektrisch vermogen is onmiddellijk zeer groot. Een normale huisaansluiting is meestal beperkt tot 25A op 400V. Hogere waarden worden door de maatschappij aangerekend met zeer hoge aansluitkosten.

Energetisch is het ook niet verantwoord deze hoogwaardige energievorm rechtsreeks in warmte om te zetten.

Het inbouwen van de doorstromer en de extra onderdelen in het bankenstelsel is ook niet zo vanzelfsprekend. In het ontwerp van ons prototype zou dit moeilijk te realiseren zijn. We zullen dus moeten zoeken naar een andere energiedrager.

### Gascondenseerende ketel

Dit zou een mogelijke oplossing zijn. De werking van een gascondenserende ketel zou je kunnen vergelijken met deze van een gewone centrale verwarming in een huisinstallatie. Doordat je met een gascondenserende ketel werkt kan je ook een hoger rendement behalen namelijk tot 108%. Nadeel is hier de noodzaak van een rookkanaal. In het watercircuit wordt soms een driewegkraan opgenomen om een lagere temperatuur te bekomen. Dit kan hier achterwege blijven omdat we rechtstreeks op lage temperatuur werken om de condensatie te bevorderen. Verder moeten nog een pomp, een drukvat en een buffervat worden voorzien.



Figuur 3.15: Gascondenseerende boiler

### Besluit

We zitten met een probleem, er is namelijk geen gasaansluiting in de kerk aanwezig. Dit is dus op dit moment geen mogelijkheid. Anders was dit een goede optie geweest. We zouden verder ook met dit systeem de watertemperatuur boven 50°C kunnen regelen wat handig is om op zoek te gaan naar de juiste instellingen.

## Warmtepomp

Een warmtepomp gebruikt ook elektriciteit als energiedrager, maar zal door de hoge COP de energiekosten drukken.

Een warmtepomp kan warmte op relatief lage temperatuur benutten voor toepassingen op hogere temperatuur. Ze kan warmte uit de omgeving (lucht, water of bodem) op voldoende hoge temperatuur brengen voor de toepassing van onder andere de verwarming van woningen en sanitair warm water. De hoeveelheid energie die ze hiervoor gebruikt is laag in vergelijking met de opbrengst. Namelijk 65 à 80% van de door de warmtepomp geleverde energie wordt gewonnen uit de omgeving. Zo zal een warmtepompinstallatie minder energie verbruiken dan een klassiek verwarmingssysteem. Ook de  $CO_2$ -uitstoot bij verwarming door middel van een warmtepomp is nul bij de gebruiker. Ze wordt bepaald door de manier van elektriciteit opwekking.

Het voordeel is dat er warmtepompen bestaan met ingebouwde pomp en buffervat.



Figuur 3.16: Warmtepomp

COP:

COP of coëfficiënt of performance is een getal dat de verhouding toont tussen het afgegeven warmte vermogen ten opzichte van de opgenomen elektrische energie.

### Besluit

Dit zou een goede oplossing kunnen zijn. Als we buiten de kerkmuren een warmtepomp zouden plaatsen hoeven we enkel de waterbuizen te koppelen tussen het toestel en de collector.

### Algemeen besluit

- Elektrische doorstomer

Word weerhouden omdat het nodige elektrische vermogen veel te hoog dreigt te worden.

- Gascondenserende ketel

Nadelen:

- Rookkanaal noodzakelijk
- Gas niet overal beschikbaar

Voordelen:

- Temperatuur kan verhoogd worden om de juiste instelling te bereiken.

- Warmtepomp

Nadelen:

- Maximum temperatuur is beperkt tot 45°C

Voordelen:

- Elektriciteit overal beschikbaar
- Geen overdreven grote elektrische vermogens nodig

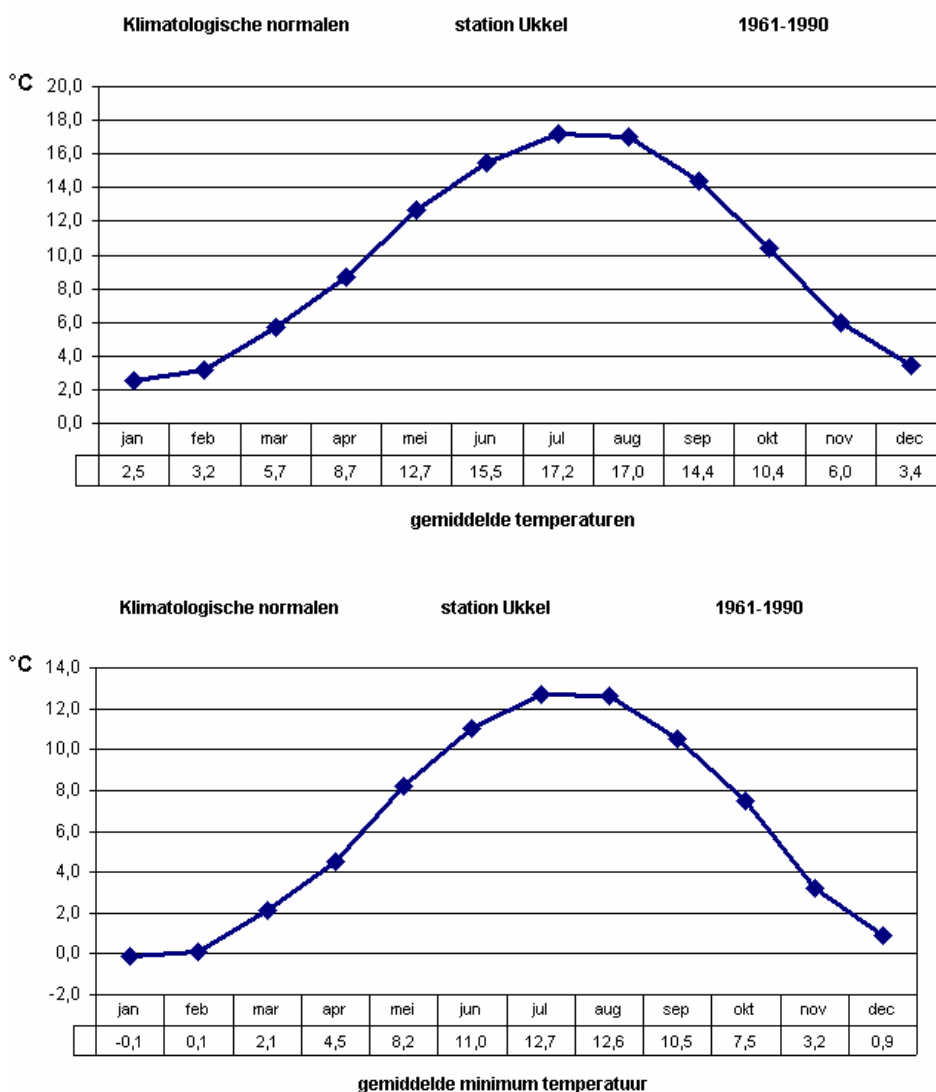
Doordat we geen gas tot onze beschikking hebben in de kerk hebben we besloten om gebruik te maken van een warmtepomp. We hebben vervolgens in overleg met Dhr. Linskens K. en Dhr. Ponsele C. van Daikin Europe NV. gezocht naar een warmtepomp. Dit is een Daikin toestel van de EUWY-KAZW reeks geworden ( brochure zie bijlage III).



### 3.4.2 Berekening van de Warmtepomp

We hebben dus de keuze gemaakt om met een warmtepomp te werken. Vervolgens moeten we berekenen hoeveel vermogen en waterdebiet het toestel moet kunnen leveren. Om te bepalen welke klasse van toestel we nodig hebben moeten we eerst berekenen hoeveel vermogen we in totaal nodig hebben.

We hebben een warmtestroom berekend van  $250W/\text{zitplaats}$ , we zijn in het ontwerp ervan uitgegaan dat we plaats bieden aan 35 personen dus hebben we een vermogen nodig van  $250W/\text{persoon} \cdot 35 = 8750W$ . Hierbij moet er wel rekening gehouden worden dat het toestel zal moeten draaien in de koudste periodes en dan zal (wegens een lagere COP) de capaciteit van de warmte pomp lager liggen dan bij hogere buitentemperaturen. Hier moeten we dus zeker rekening mee houden, zodat het toestel genoeg vermogen levert bij lagere buitentemperaturen.



Figuur 3.17: Klimatologische normalen in Ukkel

Op de vorige pagina zien we de gemiddelde temperatuur in Ukkel van 1961-1990 in grafiek uitgezet (zie figuur 3.17). We zien daarbij dat de laagste maandtemperatuur in januari is namelijk 2,5°C. In de grafiek van de gemiddelde minimum maandtemperatuur heeft ook januari de laagste temperatuur namelijk -0,1°C. Voor het bepalen van het toestel stellen we ons een zeer ongunstige situatie voor: Het vriest een week lang en de temperatuur overdag komt niet boven de 0°C. 's Nachts vriest het tot -12°C, de installatie moet nooit 's nachts werken. De buiten temperatuur tijdens de kerkdienst bedraagt -7°C. Uit de tabel van Daikin (zie figuur 3.18) bepalen we vervolgens welk toestel we nodig hebben in functie van het nodige vermogen namelijk 8750W bij een temperatuur van -7°C.

Tamb (°CDB)		-7		-3		0		3		7		10		13	
LWC (°C)	MODEL	HC	PI	HC	PI	HC	PI	HC	PI	HC	PI	HC	PI	HC	PI
35	5 KZ	8.60	3.44	9.70	3.58	10.6	3.83	11.4	3.87	12.6	3.72	13.4	3.76	14.3	3.80
	8 KZ	12.9	5.79	14.5	5.83	15.8	5.86	17.2	5.87	19.1	5.90	20.6	5.91	22.2	5.92
	10 KZ	15.0	7.28	17.5	7.30	19.4	7.31	21.3	7.32	23.8	7.31	25.7	7.31	27.6	7.31
	12 KZ	16.9	8.63	19.7	8.65	21.8	8.66	23.9	8.66	26.8	8.66	28.9	8.65	31.0	8.63
	16 KZ	25.8	11.6	29.0	11.7	31.6	11.8	34.4	11.8	38.2	11.9	41.2	11.9	44.4	12.0
	20 KZ	28.8	14.0	33.5	14.0	37.2	14.1	40.8	14.1	45.6	14.1	49.3	14.2	52.9	14.2
40	5 KZ	8.30	3.94	9.40	4.00	10.3	4.04	11.1	4.08	12.2	4.14	13.1	4.18	14.0	4.22
	8 KZ	12.6	6.34	14.2	6.38	15.5	6.41	16.9	6.44	18.8	6.46	20.3	6.48	21.9	6.49
	10 KZ	15.1	8.12	17.6	8.13	19.5	8.15	21.4	8.15	23.9	8.15	25.8	8.15	27.7	8.14
	12 KZ	17.0	9.62	19.8	9.64	21.9	9.65	24.1	9.65	26.9	9.64	29.0	9.63	31.1	9.62
	16 KZ	25.2	12.7	28.4	12.8	31.0	12.9	33.8	12.9	37.6	13.0	40.6	13.1	43.8	13.1
	20 KZ	28.9	15.6	33.7	15.6	37.4	15.7	41.0	15.7	45.8	15.7	49.5	15.8	53.1	15.8
45	5 KZ	7.90	4.36	9.10	4.42	9.90	4.46	10.8	4.50	11.9	4.56	12.8	4.59	13.6	4.63
	8 KZ	12.3	6.89	13.9	6.93	15.2	6.96	16.6	6.99	18.5	7.01	20.0	7.03	21.6	7.04
	10 KZ	15.2	8.95	17.7	8.97	19.6	8.97	21.5	8.98	24.0	8.98	25.9	8.98	27.8	8.98
	12 KZ	17.1	10.6	19.9	10.6	22.1	10.6	24.2	10.6	27.0	10.7	29.1	10.7	31.3	10.7
	16 KZ	24.6	13.8	27.8	13.9	30.4	14.0	33.2	14.0	37.0	14.1	40.0	14.2	43.2	14.2
	20 KZ	29.1	17.2	33.9	17.2	37.6	17.3	41.2	17.3	46.0	17.3	49.6	17.4	53.3	17.4
50	5 KZ			8.80	4.83	9.60	4.87	10.5	4.92	11.6	4.97	12.4	5.01	13.3	5.05
	8 KZ			13.6	7.50	14.9	7.53	16.3	7.55	18.2	7.58	19.7	7.59	21.2	7.60
	10 KZ			17.8	9.80	19.7	9.81	21.6	9.81	24.1	9.82	26.0	9.82	27.9	9.81
	12 KZ			20.1	11.6	22.2	11.6	24.3	11.6	27.1	11.6	29.3	11.6	31.4	11.6
	16 KZ			27.2	15.0	29.8	15.1	32.6	15.2	36.4	15.2	39.4	15.3	42.4	15.3
	20 KZ			34.1	18.8	37.8	18.9	41.4	18.9	46.2	18.9	49.8	19.0	53.5	19.0
	24 KZ			40.2	23.3	44.4	23.3	48.6	23.4	54.2	23.4	58.6	23.4	62.8	23.4

3TW5172-1D

**SYMBOLS**

HC	: Heating capacity (kW)
LWC	: Leaving condenser water temperature (kW)
PI	: Power input (kW)
Tamb	: Ambient temperature dry bulb (°CDB)

**NOTES**

- 1 Heating capacity  
Capacity is according to Eurovent rating standard 6/003-2003 and valid for chilled water range  $\Delta t = 3 - 8^\circ\text{C}$ .
- 2 Power input  
Power input is total input according to Eurovent rating standard 6/003-2003.

Figuur 3.18: Tabel capaciteit warmtepomp

We zien dat het toestel dat we kiezen, namelijk de EUWYB8KAZW1, een vermogen van 12,3kW kan leveren bij een buitentemperatuur van -7°C Dit is ruim overgedimensioneerd. Maar als we 1 type dalen dan hebben we een vermogen van 7,90kW wat eigenlijk net te weinig is en dat risico willen we niet nemen.

Het nominale waterdebiet nemen we 51 l/min. Dit halen we uit de specificaties van het toestel van Daikin. Deze is voorzien van een pomp.

Nominal	Cooling	l/min	26	26	26	49	49	49
Water Flow	Heating	l/min	34	34	34	53	53	53

Figuur 3.19: Tabel debiet van pomp in de warmtepomp

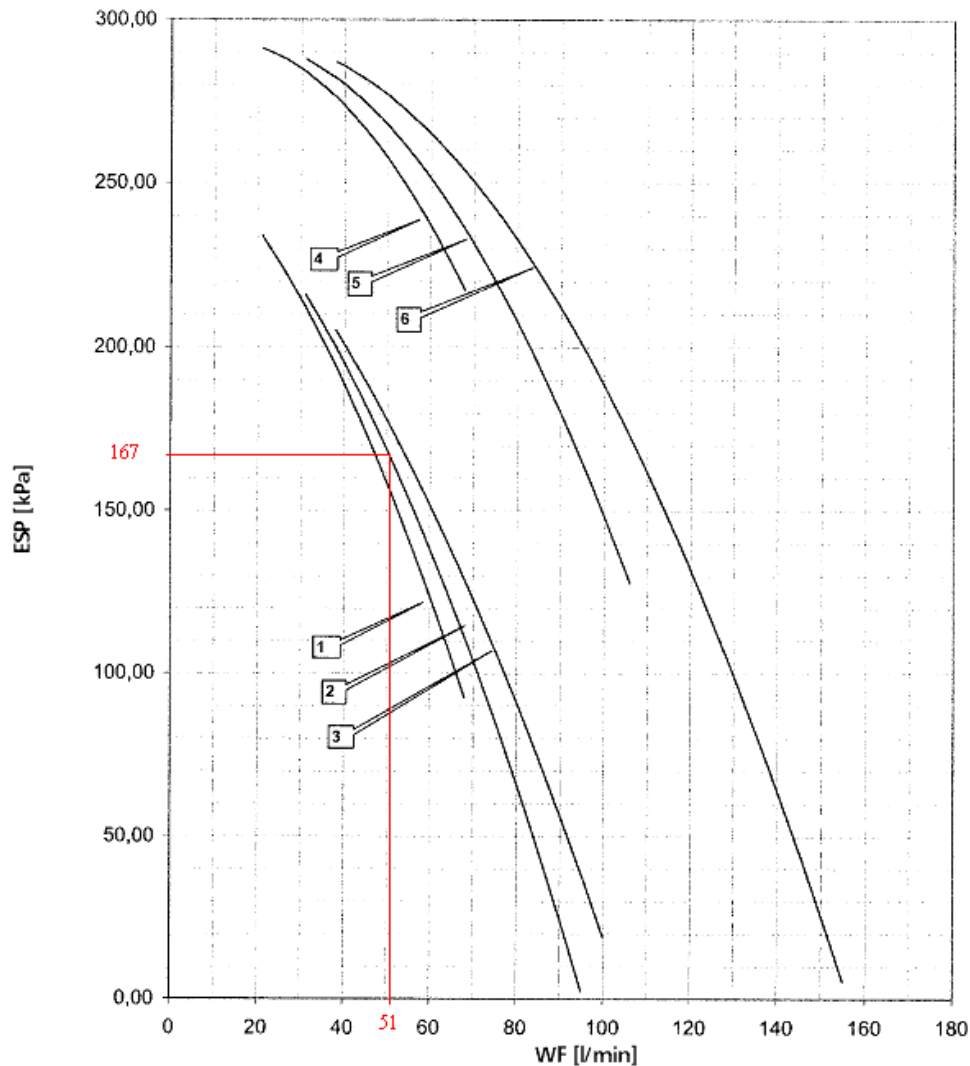
$$51 \text{ l/min} \cdot 60 = 3060 \text{ l/uur}$$

We hebben 8 kringen (zie fig. 3.21) in ons bankenstelsel, dus als we het totale debiet delen door het aantal kringen.

$$\frac{3060 \text{ l/uur}}{8 \text{ kringen}} = 382,5 \text{ l/uur/kring}$$

$$\rightarrow Q_{\min} = 45 \text{ l/min}$$

We spelen op veilig en halen uit de pompkarakteristiek (zie figuur 3.20) de druk die de pomp kan leveren bij een debiet van 51 l/min.



ESP: External static pressure of unit

WF: Waterflow rate

- ① Standard pump = EUWY(P,B)5K(A)ZW1
- ② Standard pump = EUWY(P,B)8K(A)ZW1
- ③ Standard pump = EUWY(P,B)10K(A)ZW1
- Standard pump = EUWY(P,B)12K(A)ZW1(\*)
- ④ OP pump high = EUWY(P,B)5K(A)ZW1
- ⑤ OP pump high = EUWY(P,B)8K(A)ZW1
- ⑥ OP pump high = EUWY(P,B)10K(A)ZW1
- OP pump high = EUWY(P,B)12K(A)ZW1(\*)

**Warning:** Selecting a flow outside the curves can cause damage to or malfunction of the unit. See also minimum and maximum allowed water flowrate in the technical specifications.

**(\*) Note:**  
Minimum allowed flow of 12 Hp is 45 l/min.

Figuur 3.20: Pompkarakteristiek

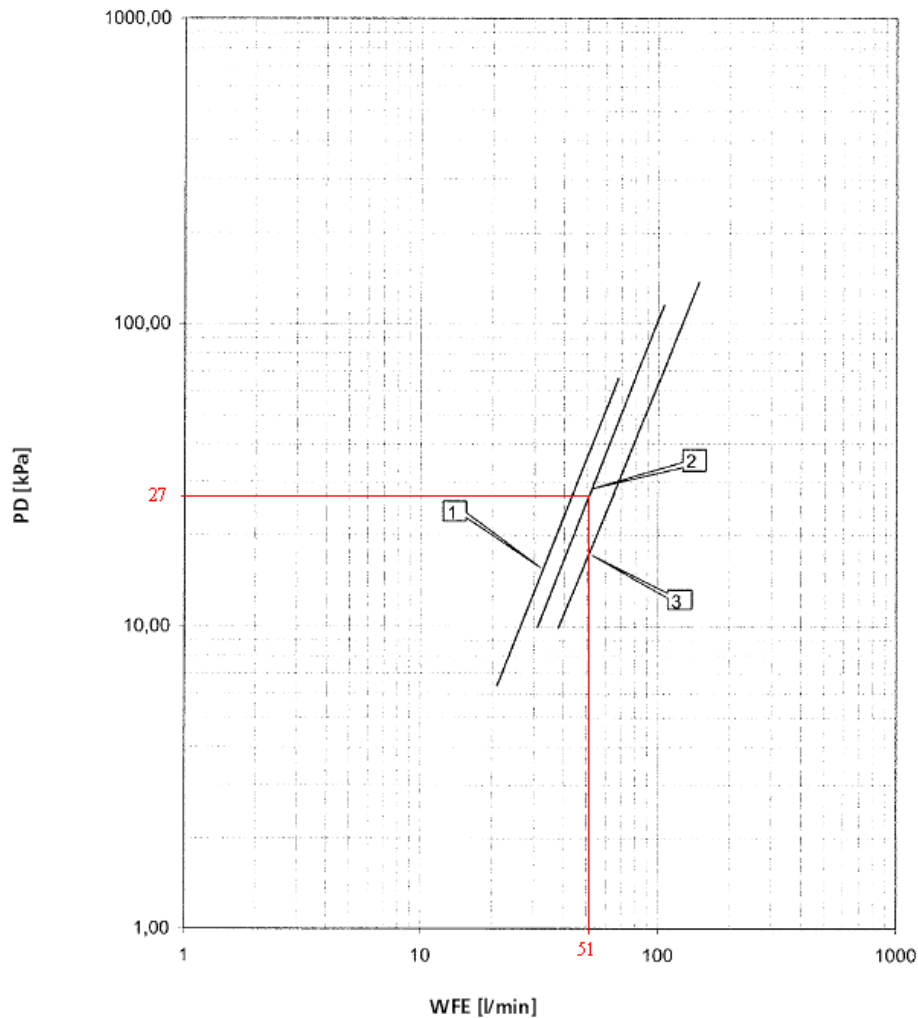
We lezen een druk van  $167\text{kPa}$  bij een debiet van  $51\frac{\text{l}}{\text{min}}$ .

Is dit voldoende om het water rond te pompen?

- Drukval over de verdamper

### Water pressure drop curve evaporator

EUWY\*5-12KAZW



PD: Pressure drop evaporator  
 WF: Evaporator waterflow rate

① EUWY(\*)5K(A)ZW1

② EUWY(\*)8K(A)ZW1

③ EUWY(\*)10K(A)ZW1  
 EUWY(\*)12K(A)ZW1(\*)

**Warning:** Selecting a flow outside the curves can cause damage to or malfunction of the unit. See also minimum and maximum allowed water flowrate in the technical specifications.

**(\*) Note:**  
 Minimum allowed flow of 12 Hp is 45 l/min.

Figuur 3.21: Drukval over de verdamper

We kunnen zien dat de drukval die over de verdamper ontstaat gelijk is aan 27kPa .

- Drukval over vloerverwarmingskring

Het drukval dat ontstaat over de kring van de vloerverwarming berekenen we op volgende manier.

Hieronder zie je een afbeelding van de buis



Figuur 3.22: Voorstelling vloerverwarmingsbuizen

Wij gebruiken de buizen met volgende afmetingen  $18 \times 2 \text{ mm}$ . Deze werden geleverd op rollen van  $120 \text{ m}$ .

We weten dat elke kring een debiet heeft van  $Q = 382,5 \frac{\text{l/uur}}{\text{kring}}$ .

De gerealiseerde kringen hebben een verschillende lengte (zie figuur 3.24). De langste kring is de meest belaste kring en bepaalt de totale drukval van de parallelgeschakelde kringen.



Uit de tabel hieronder vinden we dat de drukval voor 1 meter buis =  $425 \frac{Pa}{m}$

**Tabel E** ... Kunststofleidingen (warm water 90/70 °C)

KUNSTSTOF BUIZEN VOLGENS NBN T 42 003 (genormaliseerde dimensies aangeduid met \*)

Gebaseerd op de formule van Colebrook voor een gemiddelde watertemperatuur van 80 °C, een ruwheidscoëfficiënt van 0,007 mm, een massadichtheid van  $971,6 \text{ kg/m}^3$  en een kinematische viscositeit van  $0,365 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

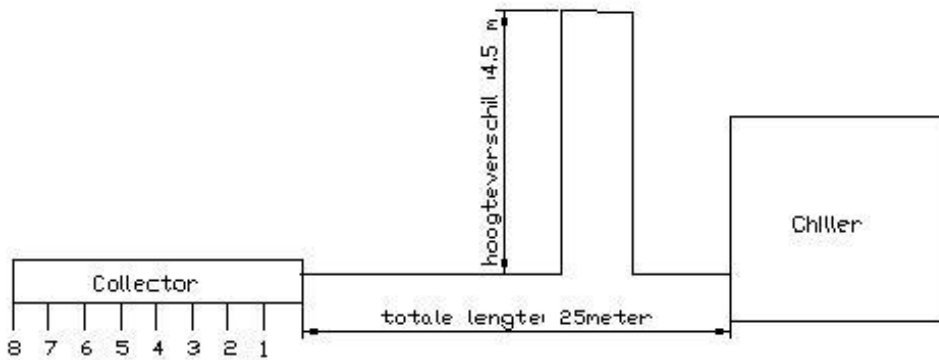
R = lineair drukverlies (Pa/m) ·  $q_m$  = waterdebiet (kg/h) ·  $v$  = watersnelheid (m/s) ·  $d_i$  = binnendiameter van de buis (m)

R Pa/m	12 x 2 (*) $d_i = 0,008 \text{ m}$		14 x 2		16 x 2 (*) $d_i = 0,012 \text{ m}$		17 x 2		18 x 2 $d_i = 0,014 \text{ m}$		20 x 2 (*) $d_i = 0,016 \text{ m}$	
	$q_m$ kg/h	$v$ m/s	$q_m$ kg/h	$v$ m/s	$q_m$ kg/h	$v$ m/s	$q_m$ kg/h	$v$ m/s	$q_m$ kg/h	$v$ m/s	$q_m$ kg/h	$v$ m/s
1	3	0,02	5	0,03	8	0,03	10	0,03	12	0,03	16	0,04
2	4	0,02	7	0,03	12	0,03	14	0,03	18	0,03	27	0,04
3	5	0,03	9	0,03	15	0,04	18	0,04	23	0,04	33	0,05
4	6	0,03	11	0,04	17	0,04	21	0,05	27	0,05	39	0,06
5	7	0,04	12	0,04	19	0,05	24	0,05	30	0,06	44	0,06
6	7	0,04	13	0,05	22	0,05	27	0,06	33	0,06	49	0,07
7	8	0,05	14	0,05	24	0,06	29	0,06	36	0,07	54	0,08
8	9	0,05	15	0,06	25	0,06	31	0,07	39	0,07	58	0,08
9	9	0,05	16	0,06	27	0,07	34	0,07	42	0,08	62	0,09
10	10	0,06	17	0,06	29	0,07	36	0,08	45	0,08	65	0,09
11	10	0,06	18	0,07	30	0,08	38	0,08	47	0,09	69	0,10
12	11	0,06	19	0,07	32	0,08	40	0,09	49	0,09	72	0,10
13	11	0,07	20	0,07	34	0,08	42	0,09	52	0,10	76	0,11
14	12	0,07	21	0,08	35	0,09	43	0,09	54	0,10	79	0,11
15	12	0,07	21	0,08	36	0,09	45	0,10	56	0,10	82	0,12
16	13	0,07	22	0,08	38	0,10	47	0,10	58	0,11	85	0,12
17	13	0,08	23	0,08	39	0,10	48	0,10	60	0,11	88	0,13
18	14	0,08	24	0,09	40	0,10	50	0,11	62	0,12	91	0,13
19	14	0,08	24	0,09	42	0,11	52	0,11	64	0,12	94	0,13
20	15	0,08	25	0,09	43	0,11	53	0,11	66	0,12	96	0,14
22	15	0,09	26	0,10	45	0,11	56	0,12	70	0,13	102	0,14
24	16	0,09	28	0,10	48	0,12	59	0,13	73	0,14	107	0,15
26	17	0,10	29	0,10	50	0,13	62	0,13	77	0,14	112	0,16
28	18	0,10	30	0,11	52	0,13	65	0,14	80	0,15	116	0,17
30	18	0,10	31	0,11	54	0,14	67	0,14	83	0,15	121	0,17
32	19	0,11	32	0,12	56	0,14	70	0,15	86	0,16	125	0,18
34	20	0,11	33	0,12	58	0,15	72	0,16	89	0,17	130	0,18
36	20	0,12	34	0,12	60	0,15	74	0,16	92	0,17	134	0,19
38	21	0,12	35	0,13	62	0,16	77	0,17	95	0,18	138	0,20
40	22	0,12	36	0,13	64	0,16	79	0,17	98	0,18	142	0,20
45	23	0,13	39	0,14	68	0,17	85	0,18	105	0,19	152	0,22
50	24	0,14	41	0,15	72	0,18	90	0,19	111	0,21	161	0,23
55	26	0,15	43	0,16	76	0,19	95	0,20	117	0,22	170	0,24
60	27	0,15	45	0,16	80	0,20	100	0,22	123	0,23	178	0,25
65	28	0,16	47	0,17	84	0,21	104	0,23	129	0,24	186	0,27
70	29	0,17	49	0,18	88	0,22	109	0,24	134	0,25	194	0,28
75	31	0,17	51	0,18	91	0,23	113	0,24	140	0,26	202	0,29
80	32	0,18	52	0,19	95	0,24	118	0,25	145	0,27	209	0,30
85	33	0,19	54	0,20	98	0,25	122	0,26	150	0,28	217	0,31
90	34	0,19	56	0,20	101	0,26	126	0,27	155	0,29	224	0,32
95	35	0,20	58	0,21	104	0,26	130	0,28	160	0,30	230	0,33
100	36	0,20	59	0,22	107	0,27	134	0,29	164	0,31	237	0,34
110	38	0,22	62	0,23	113	0,29	141	0,30	173	0,32	250	0,36
120	40	0,23	65	0,24	119	0,30	148	0,32	182	0,34	263	0,37
130	42	0,24	68	0,25	125	0,32	155	0,34	191	0,35	275	0,39
140	43	0,25	71	0,26	130	0,33	162	0,35	199	0,37	286	0,41
150	45	0,26	73	0,27	135	0,34	169	0,36	207	0,38	298	0,42
160	47	0,27	76	0,28	141	0,36	175	0,38	214	0,40	309	0,44
170	48	0,28	79	0,29	145	0,37	181	0,39	222	0,41	319	0,45
180	50	0,28	81	0,29	150	0,38	187	0,40	229	0,43	330	0,47
190	52	0,29	83	0,30	155	0,39	193	0,42	236	0,44	340	0,48
200	53	0,30	86	0,31	160	0,40	199	0,43	243	0,45	350	0,50
220	56	0,32	90	0,33	169	0,43	210	0,45	257	0,48	369	0,52
240	59	0,33	94	0,34	177	0,45	221	0,48	270	0,50	387	0,55
260	62	0,35	99	0,36	185	0,47	231	0,50	282	0,52	405	0,58
280	64	0,37	103	0,37	193	0,49	241	0,52	294	0,55	422	0,60
300	67	0,38	106	0,39	201	0,51	251	0,54	306	0,57	439	0,62
325	70	0,40	111	0,40	211	0,53	263	0,57	320	0,60	459	0,65
350	73	0,41	116	0,42	220	0,56	274	0,59	334	0,62	478	0,68
375	76	0,43	120	0,44	229	0,58	285	0,61	347	0,65	497	0,71
400	78	0,45	124	0,45	237	0,60	296	0,64	360	0,67	515	0,73
425	81	0,46	128	0,47	246	0,62	306	0,66	373	0,69	537	0,76
450	84	0,48	132	0,48	254	0,64	317	0,68	385	0,72	550	0,78
475	86	0,49	136	0,50	262	0,66	327	0,70	397	0,74	567	0,81

Figuur 3.23: Kunststof buizen volgen NBN 42 003

Als we dit vermenigvuldigen met de langste kring bekomen we het drukverschil over de langste kring. In de tabel hieronder zien we de lengtes van de 8 kringen

$$\begin{aligned}\Delta p_{\text{langste-leiding}} &= 450 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} \cdot 96\text{m} \\ &= 43200\text{Pa}\end{aligned}$$



Kring 1: vloer	96m
Kring 2: vloer	96m
Kring 3: voorkant	20m
Kring 4: bank 1	37m
Kring 5: bank 2	56m
Kring 6: bank 3	57m
Kring 7: bank 4	58m
Kring 8: bank 5	60m

Figuur 3.24: Lengtes van vloerverwarmingscircuits

- Bepalen van de toevoerleiding

We weten nu al dat er  $27\text{kPa}$  drukval is over de verdamper, het verlies over de langste kring is  $43,2\text{kPa}$  en we weten dat de pomp ongeveer  $167\text{kPa}$  kan leveren. Hiermee kunnen we berekenen wat het maximum drukval mag zijn in de leiding tussen het toestel en de collector van de bankverwarming.

$$\begin{aligned}\Delta p_{\text{leiding-max}} &= 167\text{kPa} - 27\text{kPa} - 43,2\text{kPa} \\ &= 96,8\text{kPa}\end{aligned}$$

De leiding die van het toestel vertrekt naar de collector moet een lengte van 30m hebben heen en terug.

$$\begin{aligned}l_{\text{tot}} &= 30\text{m} + 30\text{m} \\ &= 60\text{m}\end{aligned}$$

We zullen gebruik maken van de TRIAL and ERROR manier.

$$Q = 51 \frac{\text{l}}{\text{min}} \cdot 60 \text{min} = 3060 \frac{\text{l}}{\text{uur}} \rightarrow 3060 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$



**Buisdiameter 1"**

We zoeken in de tabel (figuur 3.25) naar een debiet van  $3060 \text{ kg/h}$  we vinden een debiet van  $3045 \text{ kg/h}$ . We kunnen vervolgens aflezen dat er een drukval is van  $950 \text{ Pa/m}$ , dan bekomen we

$$\begin{aligned}\Delta p_{tot} &= 950 \text{ Pa/m} \cdot 60\text{m} \\ &= 57\text{kPa}\end{aligned}$$

Omdat er bij deze keuze weinig overschot is zullen we kiezen voor een grotere buis.

**Buisdiameter  $\frac{5}{4}$ "**

We zoeken in de tabel (figuur 3.25) naar een debiet van  $3060 \text{ kg/h}$  we vinden een debiet van  $3076 \text{ kg/h}$ . We kunnen vervolgens aflezen dat er een drukval is van  $240 \text{ Pa/m}$  en dan bekomen we

$$\begin{aligned}\Delta p_{tot} &= 240 \text{ Pa/m} \cdot 60\text{m} \\ &= 14,4\text{kPa}\end{aligned}$$

**Besluit**

De ingebouwde pomp zal zonder probleem de drukvallen kunnen overwinnen. Bij een toevoerleiding van  $\frac{5}{4}$  is het overschot gelijk aan

$$\begin{aligned}\Delta p_{over} &= 167\text{kPa} - 27\text{kPa} - 43,2\text{kPa} - 14,4\text{kPa} \\ &= 82,4\text{kPa}\end{aligned}$$

We hebben dan ook de drukvallen over de koppelstukken en collector verwaarloosd doordat we een ruim overschot hebben.

De aansluitingen voorzien aan het toestel hebben ook een diameter van  $\frac{5}{4}$ " we kunnen dus rechtstreeks koppelen aan de buizen zonder verval van diameter.

**Tabel A**

DRAADBUIZEN VOLGENS NBN A 25 103

Gebaseerd op de formule van Colebrook voor een gemiddelde watern temperatuur van 81°C, een ruwheidscoëfficiënt van 0,05 mm, een massadichtheid van 971,6 kg/m<sup>3</sup> en een kinematische viscositeit van 0,365 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s

R = lineair drukverlies [Pa/m] q<sub>w</sub> = waterdebiet [kg/h] v = watersnelheid [m/s] d = binnendiameter van de buis (m)

R Pa/m	DN10 - 3/8" d <sub>i</sub> = 0,0125 m		DN15 - 1/2" d <sub>i</sub> = 0,0160 m		DN20 - 3/4" d <sub>i</sub> = 0,0216 m		DN25 - 1" d <sub>i</sub> = 0,0272 m		DN32 - 5/4" d <sub>i</sub> = 0,0359 m		DN40 - 6/4" d <sub>i</sub> = 0,0418 m	
	q <sub>w</sub> kg/h	v m/s	q <sub>w</sub> kg/h	v m/s	q <sub>w</sub> kg/h	v m/s	q <sub>w</sub> kg/h	v m/s	q <sub>w</sub> kg/h	v m/s	q <sub>w</sub> kg/h	v m/s
1	9	0,02	17	0,02	40	0,03	75	0,04	160	0,05	243	0,05
2	14	0,03	25	0,04	53	0,05	110	0,05	233	0,07	352	0,07
3	17	0,04	32	0,05	72	0,06	136	0,07	290	0,08	437	0,09
4	20	0,05	37	0,05	84	0,07	159	0,08	339	0,10	510	0,11
5	22	0,05	42	0,06	95	0,07	180	0,09	382	0,11	575	0,12
6	25	0,06	46	0,07	105	0,08	198	0,10	421	0,12	634	0,13
7	27	0,06	50	0,07	115	0,09	215	0,11	458	0,13	689	0,14
8	29	0,07	54	0,08	123	0,10	232	0,11	492	0,14	740	0,15
9	31	0,07	58	0,08	131	0,10	247	0,12	524	0,15	789	0,16
10	33	0,08	61	0,09	139	0,11	261	0,13	555	0,16	835	0,17
11	34	0,08	65	0,09	146	0,11	275	0,14	584	0,17	878	0,18
12	36	0,08	68	0,10	154	0,12	288	0,14	617	0,17	920	0,19
13	38	0,09	71	0,10	160	0,13	301	0,15	639	0,18	961	0,20
14	39	0,09	74	0,10	167	0,13	313	0,15	665	0,19	1000	0,21
15	41	0,09	77	0,11	173	0,14	325	0,16	691	0,20	1037	0,22
16	42	0,10	79	0,11	180	0,14	337	0,17	715	0,20	1074	0,22
17	43	0,10	82	0,12	186	0,14	348	0,17	739	0,21	1110	0,23
18	45	0,10	85	0,12	191	0,15	359	0,18	762	0,22	1144	0,24
19	46	0,11	87	0,12	197	0,15	369	0,18	784	0,22	1178	0,25
20	47	0,11	90	0,13	203	0,16	380	0,19	806	0,23	1211	0,25
22	50	0,12	94	0,13	214	0,17	400	0,20	849	0,24	1274	0,27
24	52	0,12	99	0,14	224	0,17	419	0,21	890	0,25	1335	0,28
26	55	0,13	104	0,15	234	0,18	437	0,22	929	0,26	1394	0,29
28	57	0,13	108	0,15	244	0,19	455	0,22	967	0,27	1450	0,30
30	59	0,14	112	0,16	253	0,20	472	0,23	1003	0,28	1505	0,31
32	61	0,14	116	0,17	262	0,20	489	0,24	1039	0,29	1558	0,32
34	63	0,15	120	0,17	271	0,21	506	0,25	1073	0,30	1610	0,34
36	65	0,15	124	0,18	279	0,22	521	0,26	1107	0,31	1660	0,35
38	67	0,16	127	0,18	288	0,22	537	0,26	1140	0,32	1709	0,36
40	69	0,16	131	0,19	296	0,23	552	0,27	1172	0,33	1756	0,37
45	73	0,17	140	0,20	315	0,25	588	0,29	1248	0,35	1871	0,39
50	77	0,18	148	0,21	334	0,26	622	0,31	1321	0,37	1990	0,41
55	82	0,19	156	0,22	352	0,27	655	0,32	1391	0,39	2084	0,43
60	85	0,20	164	0,23	369	0,29	686	0,34	1458	0,41	2183	0,46
65	89	0,21	171	0,24	385	0,30	717	0,35	1522	0,43	2279	0,48
70	93	0,22	178	0,25	401	0,31	746	0,37	1584	0,45	2371	0,49
75	96	0,22	185	0,26	416	0,33	774	0,38	1644	0,46	2461	0,51
80	100	0,23	192	0,27	431	0,34	802	0,39	1702	0,48	2548	0,53
85	103	0,24	198	0,28	446	0,35	828	0,41	1759	0,50	2632	0,55
90	106	0,25	204	0,29	460	0,36	854	0,42	1814	0,51	2714	0,57
95	109	0,26	210	0,30	474	0,37	879	0,43	1868	0,53	2794	0,58
100	112	0,26	216	0,31	487	0,38	904	0,45	1920	0,54	2872	0,60
110	118	0,28	228	0,32	513	0,40	952	0,47	2021	0,57	3022	0,63
120	124	0,29	239	0,34	538	0,42	999	0,49	2118	0,60	3167	0,66
130	129	0,30	250	0,36	562	0,44	1042	0,51	2212	0,63	3306	0,69
140	135	0,31	260	0,37	585	0,46	1084	0,53	2302	0,65	3440	0,72
150	140	0,33	270	0,38	607	0,47	1125	0,55	2389	0,68	3570	0,74
160	145	0,34	280	0,40	629	0,49	1165	0,57	2474	0,70	3696	0,77
170	150	0,35	289	0,41	650	0,51	1204	0,59	2556	0,72	3818	0,80
180	154	0,36	299	0,43	671	0,52	1241	0,61	2636	0,75	3937	0,82
190	159	0,37	308	0,44	691	0,54	1278	0,63	2714	0,77	4054	0,85
200	163	0,38	316	0,45	710	0,55	1314	0,65	2790	0,79	4169	0,87
220	172	0,40	333	0,47	738	0,58	1384	0,68	2912	0,83	4384	0,91
240	180	0,42	350	0,50	784	0,61	1450	0,71	3026	0,87	4594	0,96
260	188	0,44	365	0,52	819	0,64	1514	0,75	3133	0,91	4796	1,00
280	196	0,46	380	0,54	853	0,67	1575	0,78	3233	0,95	4980	1,04
300	203	0,47	395	0,56	886	0,69	1635	0,80	3327	0,98	5158	1,08
325	212	0,49	415	0,59	935	0,72	1707	0,83	3424	1,02	5306	1,13
350	221	0,51	430	0,61	983	0,75	1777	0,85	3515	1,05	5455	1,17
375	229	0,53	446	0,64	1030	0,78	1844	0,89	3603	1,11	5607	1,22
400	237	0,55	462	0,66	1076	0,81	1909	0,93	3689	1,15	5761	1,26
425	245	0,57	478	0,68	1121	0,84	1972	0,97	3774	1,18	5918	1,30
450	253	0,59	493	0,70	1164	0,86	2035	1,00	3859	1,22	6077	1,34
475	260	0,61	508	0,72	1207	0,89	2098	1,03	3944	1,26	6237	1,38
500	267	0,62	523	0,74	1250	0,91	2159	1,06	4029	1,29	6398	1,42
550	281	0,66	551	0,78	1342	0,96	2276	1,11	4212	1,36	7109	1,49
600	294	0,69	577	0,82	1430	1,01	2378	1,17	4393	1,43	7812	1,57
650	308	0,72	603	0,86	1519	1,05	2481	1,22	4572	1,49	8517	1,64
700	320	0,75	628	0,89	1605	1,10	2582	1,27	4750	1,55	9216	1,70
750	332	0,77	653	0,93	1690	1,14	2680	1,32	4927	1,61	9918	1,77
800	344	0,80	678	0,96	1774	1,18	2775	1,37	5103	1,66	10613	1,83
850	357	0,83	703	0,99	1857	1,22	2867	1,41	5278	1,72	11306	1,90
900	369	0,85	727	1,03	1939	1,26	2957	1,46	5452	1,77	12000	1,95
950	377	0,88	743	1,06	2020	1,30	3045	1,50	5625	1,83	12695	2,00
1000	385	0,90	759	1,09	2100	1,33	3130	1,54	5797	1,88	13391	2,06

Figuur 3.25: Draadbuisen volgens NBN A 25

### **3.5 Ontwerp**

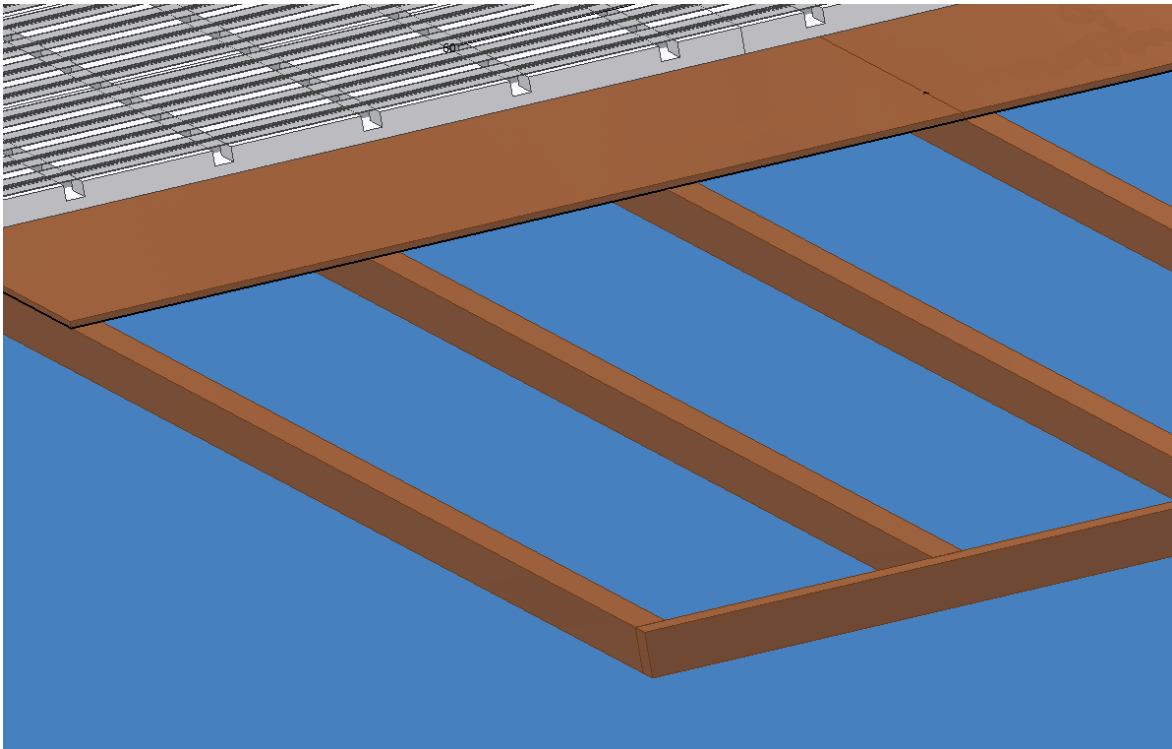
Voor het ontwerp hebben we rekening moeten houden met verschillende factoren. Ten eerste moest heel het ontwerp los staan van de grond of van enig object in de kerk. Omdat de kerk van grote historische waarde is en er dus zeker niks mag verloren gaan aan de waarde hiervan. Daarom hebben we beslist om het volledige systeem op een sokkel te plaatsen.

Ook hebben we moeten zoeken naar een compromis tussen comfortabele banken en genoeg plaats te voorzien om het verwarmingssysteem in de banken te verwerken. Ook moet er nog een mogelijkheid bestaan om de banken misschien nog aan te kleden zodat deze beter kunnen opgenomen worden in de kerk omgeving.

Met deze factoren in het achterhoofd zijn we begonnen met het ontwerpen.

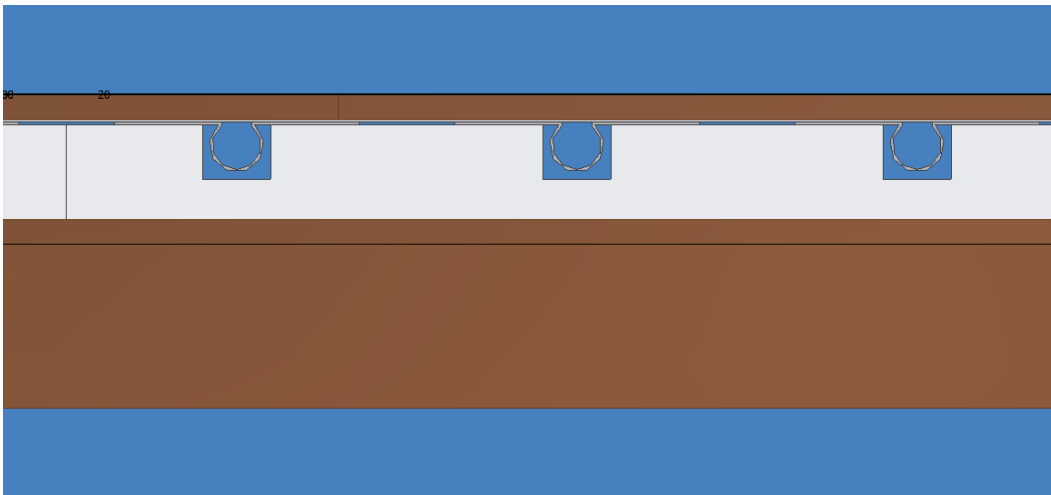
Voor comfortabele afmetingen van een bank is zoals eerder vermeld onze docent Dhr. Denijs J. naar de abdij van Averbode geweest en heeft daar de afmetingen van de banken opgenomen. Op deze afmetingen hebben wij dan onze zitbank gebaseerd (zie figuur 3.12). Daarna zijn we begonnen met het inwerken van het vloerverwarmingssysteem in de banken. Voor dit systeem zijn we bij de firma Thermoduct terechtgekomen, we hebben daar samen met Dhr. Driessen T. besproken welk systeem het beste zou zijn. We kregen twee mogelijkheden: het droge systeem, en een systeem met een netwerk van fijne buisjes die men gemakkelijk ergens kan tussen verwerken. Onze keuze ging uit naar het droge systeem omdat we daar direct met een isolatieplaat zitten naar beneden toe en de warmte goed en snel naar het oppervlak word overgebracht.

Na de beslissing van welk systeem en de afmetingen zijn we begonnen met het ontwerp. Vervolgens zijn we begonnen met de sokkel. En dan de banken. Na vele verschillende schetsen zijn we dan uiteindelijk bij het bestaande resultaat gekomen.



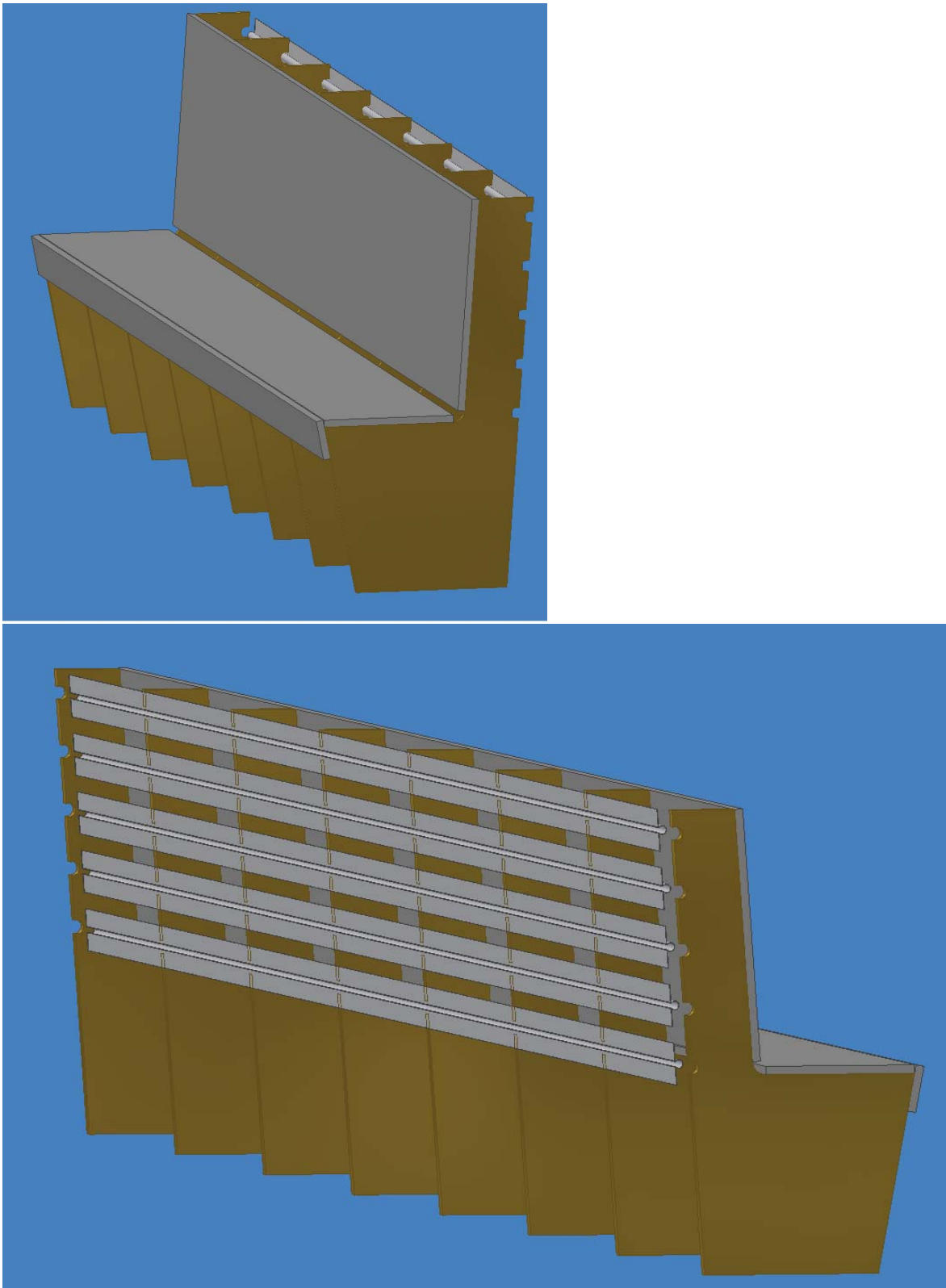
Figuur 3.26: Voorstelling opbouw sokkel

De sokkel ligt op een basis van een houten raster dat gemaakt wordt van houten balken van 6cm bij 4cm. Door dit raster te plaatsen komt de hele sokkel wat hoger te liggen zodat dit dan duidelijk herkend wordt als een soort trede anders verkrijgt men het risico dat personen erover zouden struikelen. Ook biedt dit het voordeel dat we onze leidingen in de sokkel kunnen verwerken om de verbinding tussen de collector en banken te voorzien.



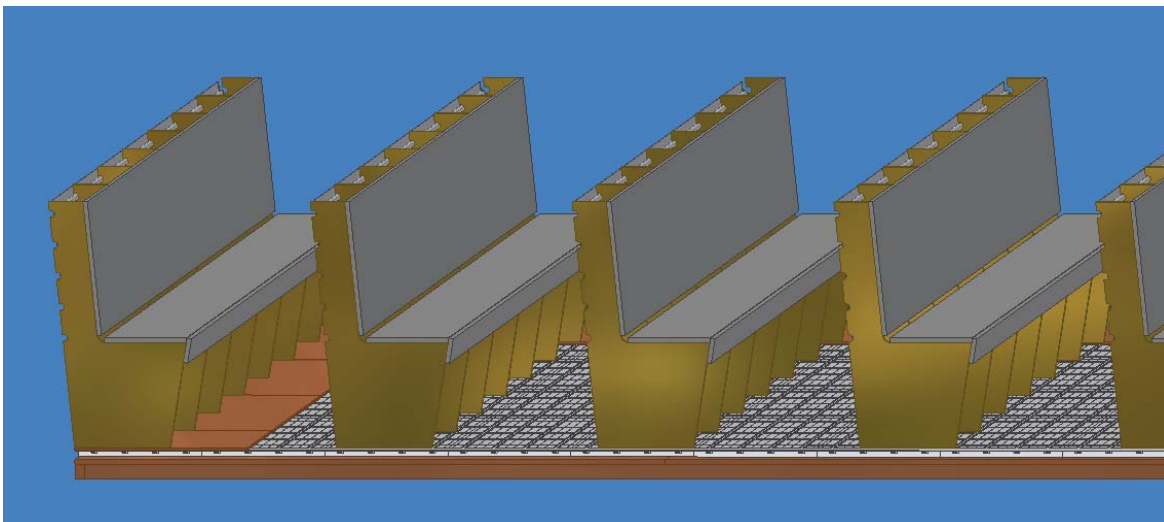
Figuur 3.27: Zijaanzicht sokkel

Hier in zijaanzicht een beeld van het raster, dan de multiplexplaat van 18mm, de piepschuimplaat met daarin de omegaprofielen verder komt daarboven nog een metalen plaat van 0,5mm met daarop dan de afwerkingplaat van 8 mm. De bovenste plaat wordt met behulp van schroeven zo goed mogelijk tegen de metalen plaat gedrukt zodat er een zeer goed contactoppervlak ontstaat.



Figuur 3.28: Schematische voorstelling opbouw banken

De banken worden voorzien van sleuven in de achterkant van de steunen om de omega profielen in te plaatsen. En een multiplex van 18mm op zitvlak en rugleuning. De steunen zelf zijn vervaardigd uit multiplex plaat van 18 mm.



Figuur 3.29: Schematische voorstelling banken op sokkel

De banken worden op een andere locatie prefab gemaakt, de sokkel terplaatste in de kerk zodat er zo weinig mogelijk in de kerk moet gewerkt worden. Vervolgens sluiten we dan de banken aan op de buizen die voorzien zijn aan de collector.

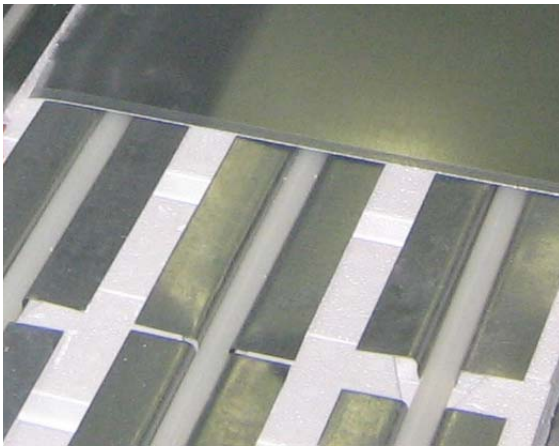
## 3.6 Opbouw prototype

### 3.6.1 Opbouw sokkel

Voor het bouwen van de banken zijn we begonnen met het leggen van de sokkel. We hebben eerst een dampscherm op de vloer gelegd om het hout te beschermen tegen vocht. Vervolgens hebben we een raster gemaakt met balkjes van  $60 \times 40 \text{ mm}$ , de grootte van het raster was  $4200 \times 5500 \text{ mm}$ . Eenmaal dit gelegd was konden we beginnen met het leggen van de platen van  $18 \text{ mm}$ . Het was de bedoeling om een volledig vlak te hebben. Op deze platen kwamen de piepschuimplaten met gleuven om de buizen in te leggen. Eerst moesten we de metalen omega profielen in de daarvoor voorziene gleuven van de piepschuimplaten leggen, deze zorgen voor een betere warmteafgifte aan het contactoppervlak.



Vervolgens was het de bedoeling om de buizen af te rollen en in de omega profielen te leggen. Hierop werd onmiddellijk een metalen plaat gelegd om een betere warmtespreiding te bereiken.



Figuur 3.30: Foto droog vloerverwarmingssysteem

De laatste stap was de multiplex afwerkingsplaat van  $8 \text{ mm}$  dikte boven de metalen plaat te leggen en met lange schroeven vast te trekken in de onderste plaat van  $18 \text{ mm}$ , zodat het geheel goed tegen elkaar aangedrukt werd. Dit zorgt ervoor dat er geen luchtlagen tussen de metalen platen en het hout zouden zijn, want deze luchtspleten zouden enkel een isolerende werking hebben. Dit moeten we juist vermijden.



### 3.6.2 Opbouw banken

Na veel zoeken en proberen hadden we de vorm en maten vastgelegd en zijn we begonnen met het maken van steunen. De steunen van de bank hebben een speciale vorm. Omdat we 40 dezelfde steunen nodig hadden hebben we gekeken om het door een firma te laten maken. Wij hebben uiteindelijk bij het bedrijf Brapo BVBA te Deinze gebruik mogen maken van hun CNC gestuurde bovenfrees machine.



Hierdoor konden we de steunen veel sneller maken. De steunen zijn allemaal identiek wat het verder bouwen van de banken zal vereenvoudigen.



Figuur 3.31: Profiel met CNC hout freesmachine

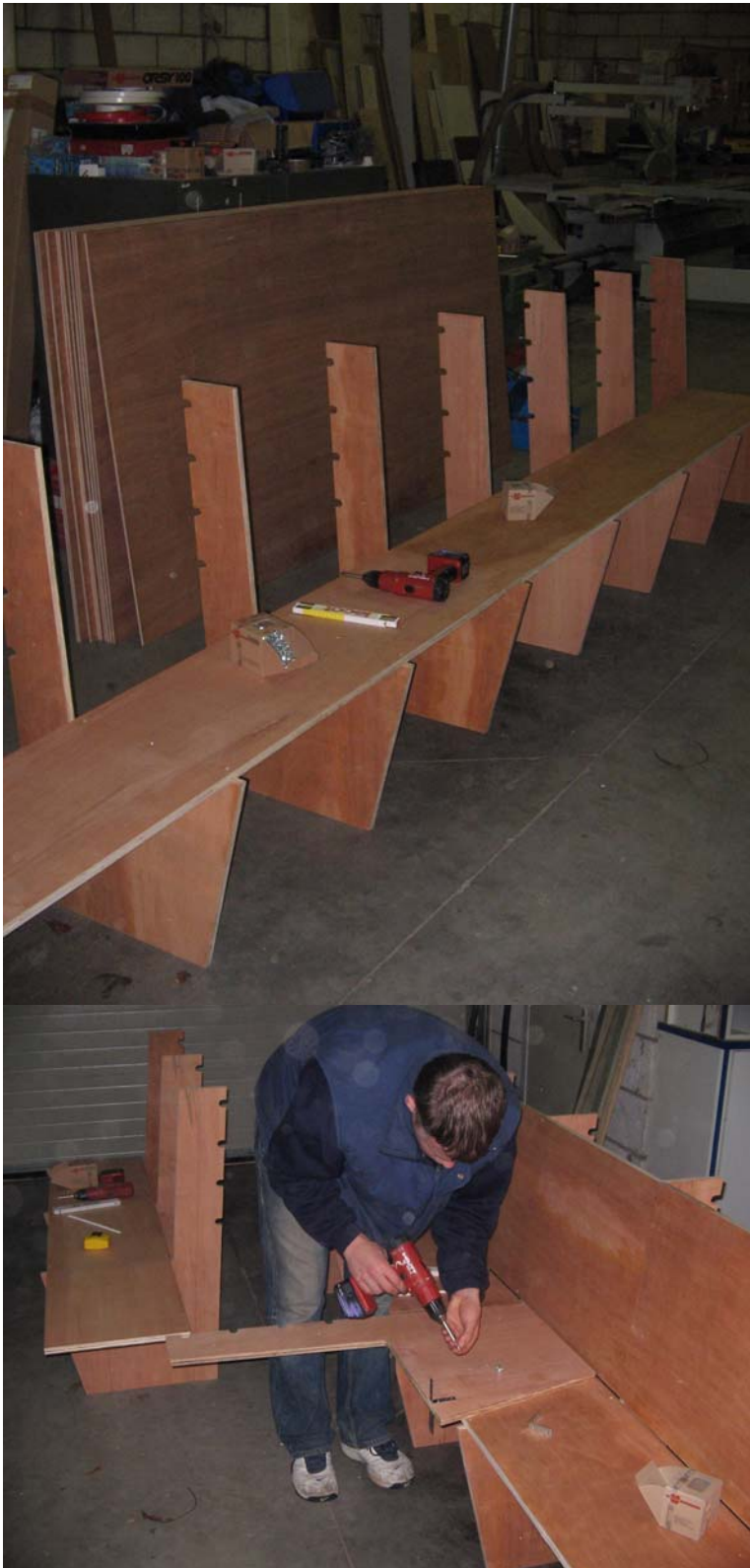


Vervolgen hebben we de planken laten leveren bij Jan thuis waar we gebruik konden maken van een zaagmachine en de ruimte met het nodige materiaal.



Figuur 3.32: Zagen van planken

Nu konden we beginnen aan onze eerste bank. We zijn begonnen met het onderste zitvlak te bevestigen op de steunen die we om de 60cm plaatsen. We moesten alles goed controleren zodat afstanden correct bleven en dat de juiste afmeting van de bank bereikt werd.



Figuur 3.33: Monteren steunprofielen

Vervolgens hebben we de rugleuning geplaatst, ook werd het stalen omega profiel voor aan de knieholte bevestigd. Nu konden we de afmetingen van de piepschuimplaten bepalen voor op het zitvlak gedeelte. Ook de piepschuimplaten aan de rugleuning werden bevestigd.



Figuur 3.34: Plaatsen isolatieprofielen

Een legpatroon voor de buizen in deze toepassing, in vergelijking met de sokkel, hebben we niet. Dus voor deze toepassing hadden we geen kopplaten. Ook voor de bochten in de leidingen hadden we geen profiel om te volgen. We hebben dan zelf moeten proberen enkele aanpassingen te maken aan de bank door middel van gaten en gleuven.



Figuur 3.35: Aanpassingen voor legschema buizen



Doordat er geen vast legpatroon is moeten er ook aan de omegaprofielen, piepschuimplaten en metalen platen veranderingen worden aangebracht.



Figuur 3.36: Aanpassingen  $\Omega$ -profielen

Als alle platen gelegd zijn is het mogelijk om de omega profielen te leggen waarna er buizen worden ingelegd.



Figuur 3.37: Legschema buizen in bankenstelsel

Nu kunnen we de op maat gesneden metalen platen op de omegaprofielen bevestigen. Daarboven komt de Multiplex afwerkingsplaat met een dikte van 8mm. Vervolgens wordt deze goed vastgeschroefd aan de onderste Multiplex plaat van 18mm dik, zodat alles goed tegen elkaar gedrukt wordt.



Figuur 3.38: Samenstelling droog vloerverwarmingssysteem

Voor de achterkant werd er ons voorgesteld om enkel de omegaprofielen te gebruiken met metalen plaat zonder gebruik te maken van de piepschuimplaten.



Figuur 3.39: Legschemabuizen aan achterkantbanken



Om zo weinig mogelijk warmte te verliezen aan de omgeving zullen we de bovenkant van de leuning vullen met isolatie.



Figuur 3.40: Isolatie bovenkant banken

Doordat we 's avonds aan de banken bouwden en het winterperiode was hadden we veel problemen met het afwikkelen van de buizen. Daarom hebben we de buizen voor het ontwikkelen een beetje moeten opwarmen. Hierdoor werden ze soepeler en dus ook makkelijker om te verwerken in de banken.



Zo hebben we alle banken kunnen bouwen.



Figuur 3.41: Alle banken in prefab



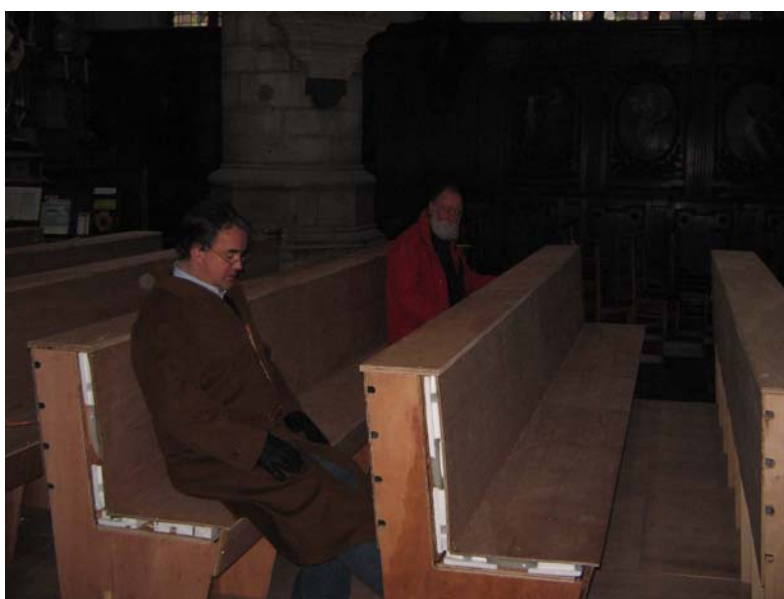
### 3.6.3 Opbouwen banken te Aalst

Nu we alle banken hebben gebouwd als prefab, is het de bedoeling om ze naar Aalst te brengen. We hebben de parking bij de kerk gereserveerd zodat de vader van Jan geen probleem zou hebben om 's morgens de vrachtwagen te parkeren voor het lossen van de banken.



Figuur 3.42: Levering banken in Sint Martinus kerk

Na het lossen van de banken hebben we ze op de sokkel geplaatst. Zo konden we al eens het gevoel ervaren van hoe het eruit zou zien. We konden de banken ook al meteen eens voorstellen aan Dhr. Walter Slock en Dhr. Jean-Paul Bosteels.



Figuur 3.43: Plaatsing banken op sokkel

We hebben de banken voorlopig vastgemaakt aan de sokkel zodat ze niet kunnen omkantelen en op hun vaste plaats blijven staan.



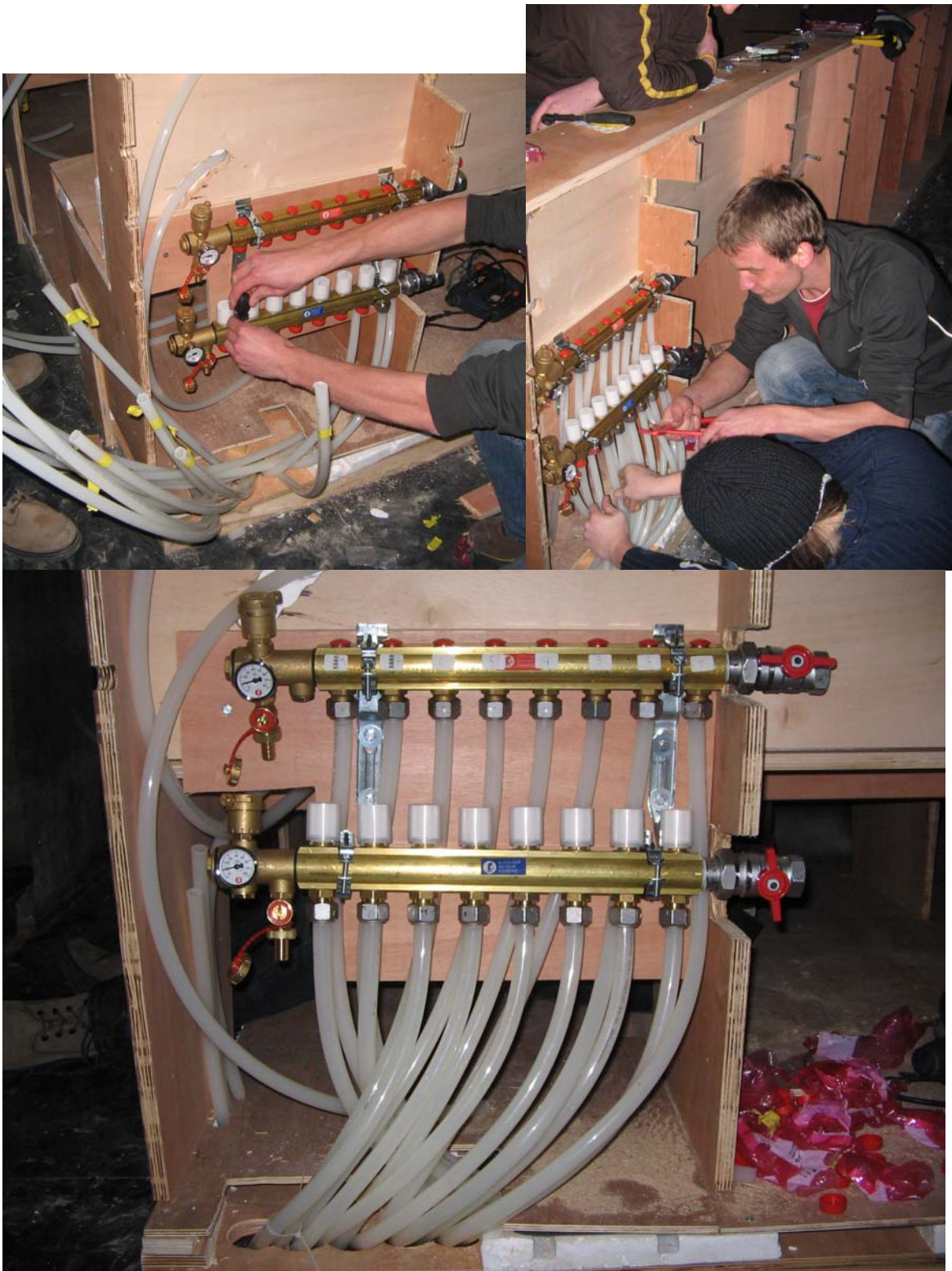
We hebben achteraan een extra plank bevestigd om de collector aan op te hangen.



Figuur 3.44: Monteren collector



De volgende stap is het aansluiten van de collector.



Figuur 3.45: Aansluiten collector

De banken worden gekoppeld aan de leidingen die voorzien waren in de sokkel.



Figuur 3.46: Aansluiten banken op sokkel

Zo komen we tot de voorlopige opstelling van onze banken.





### 3.6.4 Plaatsen toestel Daikin

De opbouw van de opstelling in de kerk was voorlopig achter de rug. Nu moesten we ons gaan toespitsen op het plaatsen en aansluiten van het toestel de EUWYB8KAZW1 (bepaald in onze berekeningen) die ons ter beschikking gesteld werd door Daikin Europe NV.



Figuur 3.47: Plaatsing Daikin toestel

We waren zeer blij dat het toestel op tijd geleverd was. Maar het probleem dat we toen hadden was dat het toestel aan de andere kant van de omheining moest komen te staan. Na een paar telefoontjes heeft de technische dienst van de stad Aalst ervoor kunnen zorgen dat de brandweer ons wou helpen met het verplaatsen van het toestel.



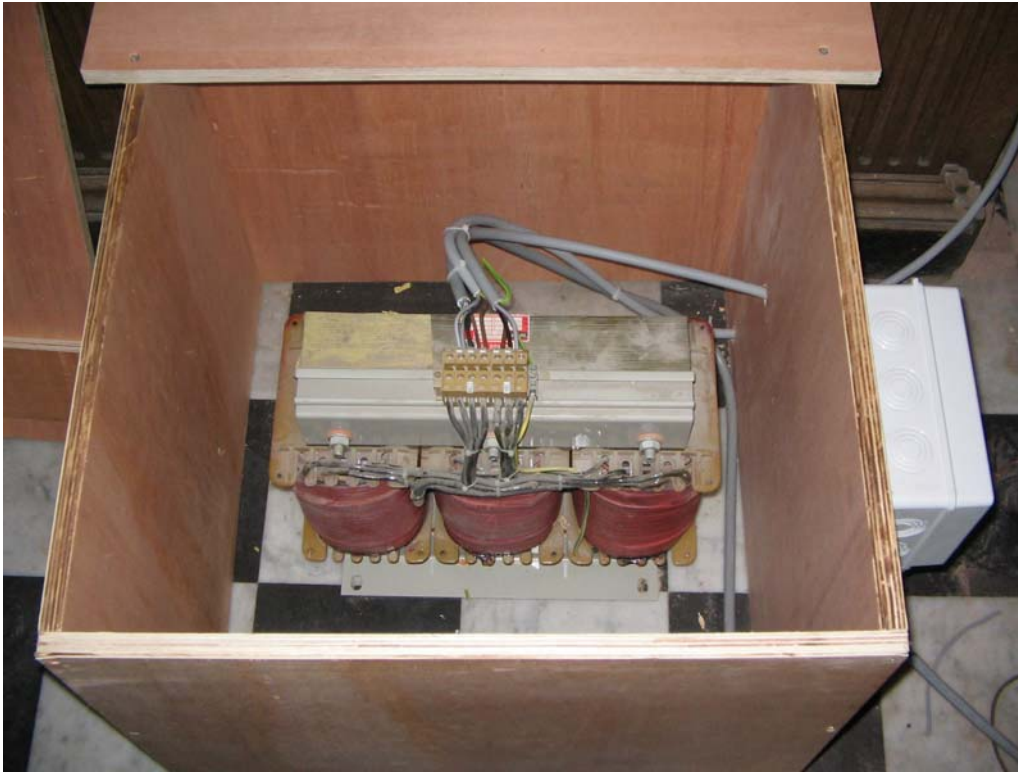
Toen we even controleerden of er in de kerk 400V aanwezig is stelden we vast dat dit niet zo was. Er waren foutief rode stopcontacten gebruikt in plaats van blauwe. Dit had ons op het foute spoor gebracht. Om aan 3x400V te geraken hadden we twee mogelijkheden ofwel een elektrische groep plaatsen of en transformator. We hebben contact opgenomen met de technische dienst van de stad Aalst. Deze had nog een transformator staan van 10kVA.



Figuur 3.48: Transformator drie fasig



Voor de veiligheid hebben we een kast gemaakt rond de transformator voorzien van enkele gaten voor afkoeling.



De transformator hebben we aangesloten op het bestaande driefasig stopcontact. We hebben een verliesstroomschakelaar en een automaat geplaatst in de secundaire kring. De transformator werd geaard langs de aarding van de kerk. Voor de veiligheid hebben we het toestel geaard door direct bij het toestel een aardingspen in de grond te slaan.



Figuur 3.49: Aansluiten transformator

We hebben ons gehouden aan de voorgeschreven richtlijnen (zie bijlage III)



**Berekening kabelsectie**

Volgens de berekeningswijze uit de cursus technische uitrusting hebben we vervolgens de kabel sectie berekend. Dit volgens de berekeningsprocedure van Hager (zie bijlage VIII).

$$I_z \geq \frac{K \cdot I_{\text{beveiliging}}}{f}$$

$I_z$  Toelaatbare stroom in de te beveiligen geleider ( tabel S13A en S13B zie bijlage VIII.V)

$I_b$  Bedrijfsstroom van de kring (geïnstalleerd vermogen)

$K$  Coëfficiënt bepaald door het type en de grootte van de beveiligingsinrichting( tabel S1 zie bijlage VIII.I)

$f$  Installatiecoëfficiënt: deze coëfficiënt beantwoordt aan de installatie- en omgevingsomstandigheden waaraan de te berekenen kring is blootgesteld. Elke omstandigheid, in zoverre van toepassing, bepaalt een coëfficiënt (f1 tot f2).

Bepalen van de installatie coëfficiënt:

f1 = 1 omwille van het gebruik van een automaat.

f2 = 1 er is geen ontploffingsgevaar aanwezig.

f3 = 1,12 omgevingstemperatuur bedraagt 15°C.

f4 = 0,9 een - of meeraderige kabels en zijn zichtbaar gemonteerd.

f5 = 0,94 aantal horizontaal geplaatste leidingen 2.

f6 = 0,80 groepering van meeraderige kabels 2.

f7 = 1 Niet van toepassing.

f8 = 1 Niet van toepassing.

f9 = 1 Niet van toepassing.

f10 = 1 Niet van toepassing.

f11 = 1 Niet van toepassing.

f12 = 1 Niet van toepassing.

Vervolgens berekenen we  $I_z$ .

$$I_z \geq \frac{K \cdot I_{\text{beveiliging}}}{f}$$

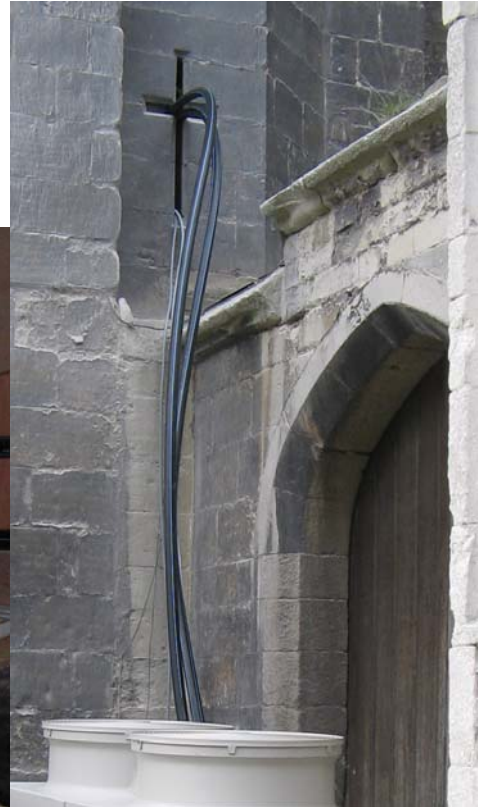
$$I_z \geq \frac{1 \cdot 14,90A}{1 \cdot 1 \cdot 1,12 \cdot 0,9 \cdot 0,94 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}$$

$$I_z \geq \frac{1 \cdot 14,90A}{0,758}$$

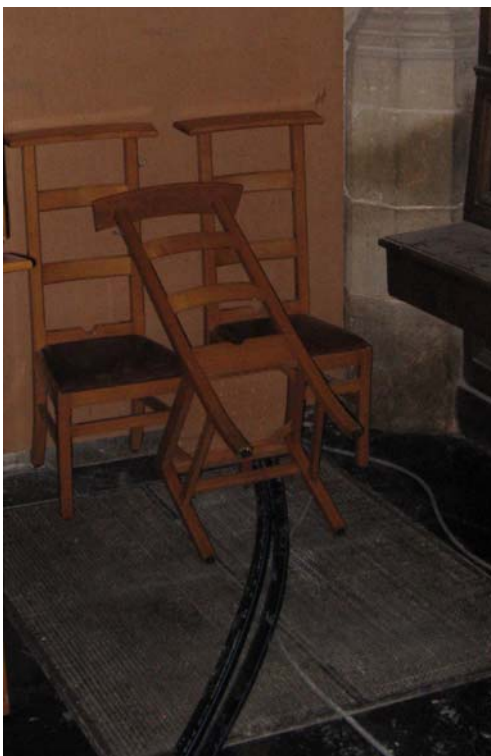
$$I_z \geq 19,56A$$

Uit tabel S13A (zie bijlage VIII.V) Blijkt dat een kabel met sectie 2,5mm<sup>2</sup> al voldoet toch kiezen we voor een overdimensionering en hebben we een kabel met sectie 4mm<sup>2</sup> gekozen.

Het volgende wat we gedaan hebben is het aansluiten van het toestel aan de collector. Om snel, goedkoop en gemakkelijk te kunnen werken hebben we gekozen om een zwarte flexibele PE-buis te nemen, deze heeft een diameter van  $\frac{5}{4}$ " zoals berekend is (zie berekeningen 3.4.2).



Figuur 3.50: Aansluiten chiller aan collector



Nu dat alles aangesloten was, konden we water op het circuit steken. We hebben het circuit gevuld via een tuinslang op de collector. We moesten wel goed opletten om zoveel mogelijk lucht uit het systeem te krijgen. De collector staat hiervoor zeer slecht geplaatst. Dit komt doordat we de collector wilden inbouwen in de bank, zodat deze niet zichtbaar is.



Figuur 3.51: Circuits vullen met water

Doordat er in de kerk enkel 3x230V beschikbaar was, hebben we dus een transformator geplaatst. Het volgende probleem dat zich hiermee stelde was dat in het toestel de beide spanningen nodig zijn. Het moederbord neemt normaal tussen de lijndraad en de nulgeleider tweemaal 230V af.

Vervolgens dachten we dan om een extra kabel met een spanning van 230V aan te brengen het sturingsgedeelte zo te voorzien van de nodige 230V. Dit idee hebben we dan eerst in voorgelegd aan de mensen van Daikin, die hadden ons dan bevestigd dat dit een mogelijke oplossing was.

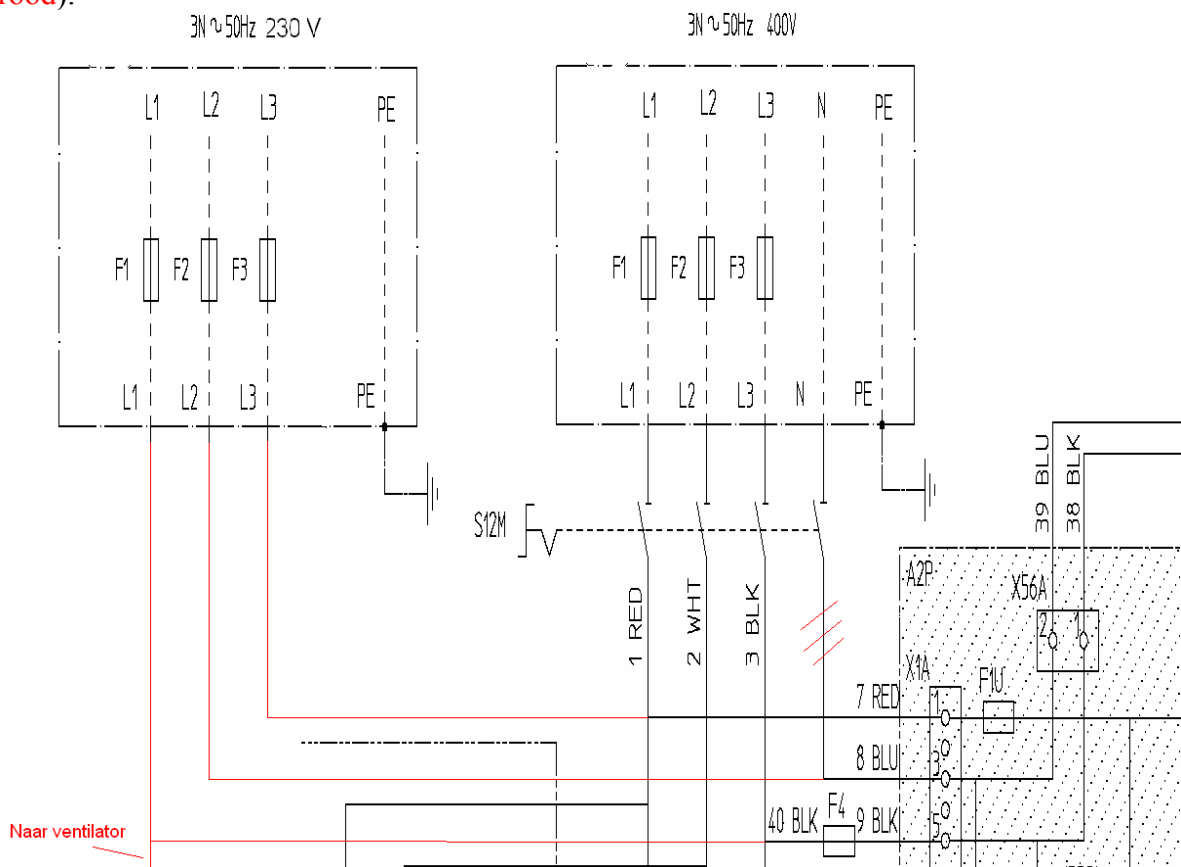
Nu konden we overgaan op de eerste testen. Voor het opstarten van de chiller hebben we een volledige dag hulp gekregen van Dhr. Carl Ponsele die werkt op de Quality Assurance Department Testing Section van Daikin Europe NV.

Doordat we enkele wijzigingen hadden moeten doen aan de aansluiting werden we geconfronteerd met het eerste probleem. De ventilatoren kregen geen spanning met als resultaat dat het toestel in veiligheid viel. We zien dat de coil van de chiller de neiging had om te bevroren.



Figuur 3.52: Probleemstelling aansluiting toestel

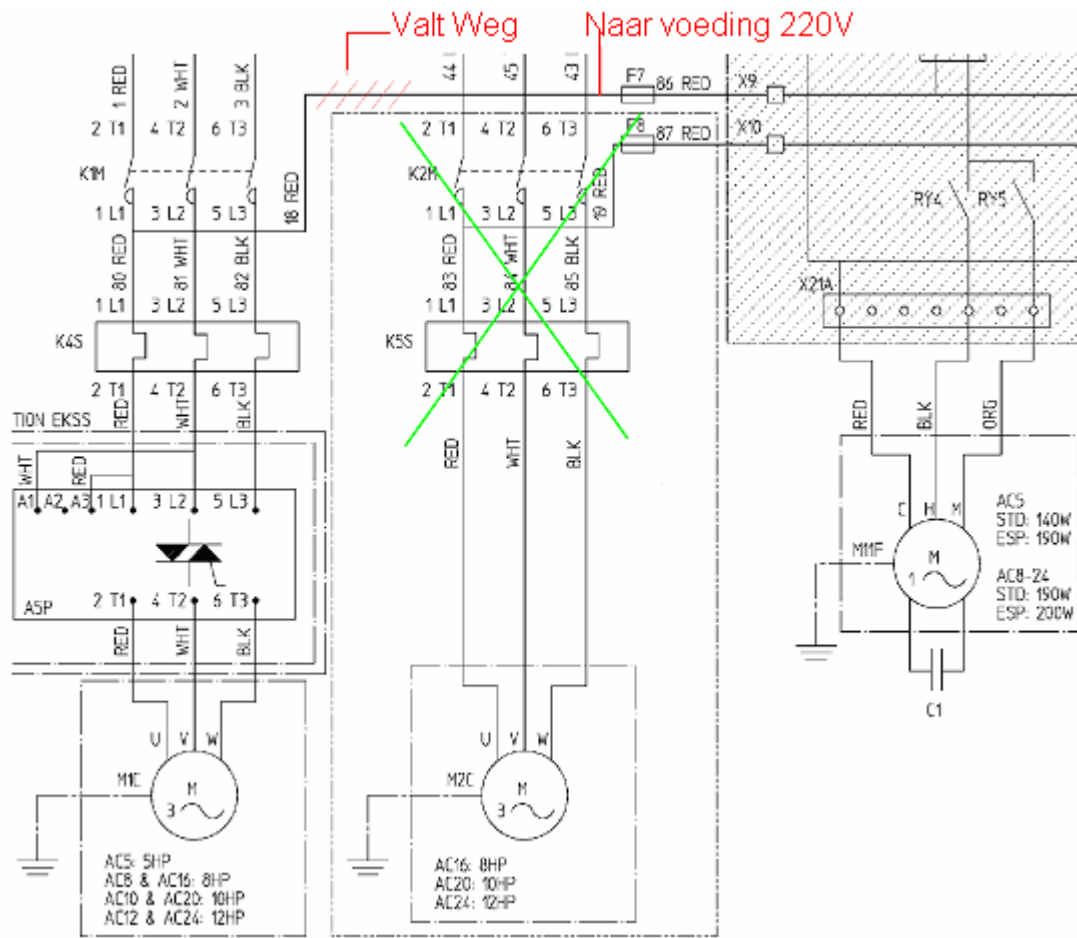
Vervolgens hebben we dan deze aanpassingen gedaan in het elektrische schema (in het rood).



Figuur 3.53: Wijziging sturing voor ventilator

We hebben dus de printplaat apart gevoed met 3x 230V





Figuur 3.54: Wijziging om 220V te leveren aan printplaat

Hier word dan ook nog een lijndraad verbroken. We sluiten deze aan op één van de lijndraden van 220V zodat de ventilator zijn voedingsspanning verkrijgt van 220V. Waar deze aanpassingen in het volledige schema plaatsvinden, kunt u zien in het elektrische schema van het toestel (zie bijlage V.I). Door deze aanpassingen te doen werkte het toestel zoals het zou moeten en konden we beginnen met de eerste tests. De coil zoals u ziet op de foto hieronder vvoor niet meer aan doordat de ventilatoren draiden .



Figuur 3.55: Coil van Daikin toestel en plaatsing nieuwe contactor

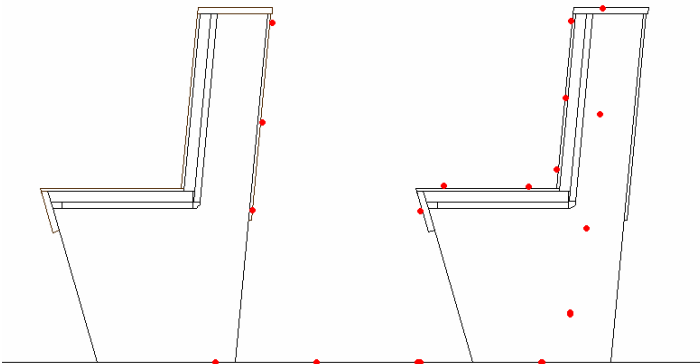
### 3.7 Testen van het prototype

Nadat alles naar behoren werkte konden we beginnen met de voorbereidingen van de meetopstelling, hiervoor had Dhr. Carl Ponsele een datalogger meegebracht die ons ter beschikking gesteld werd door Daikin Europe NV. Deze datalogger heeft een capaciteit van 60 meetpunten die we vervolgens overal hebben aangebracht op de verscheidene plaatsen in het bankenstelsel.



Figuur 3.56: Plaatsen thermokoppels

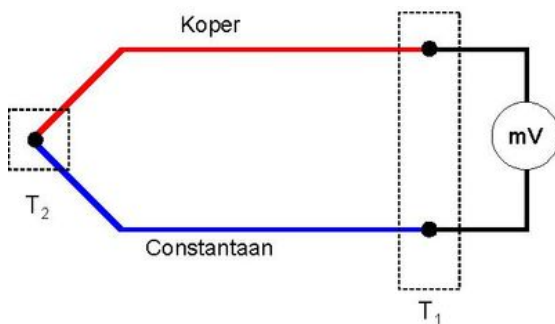
De datalogger werkt met thermokoppels die zo alle meetwaarden binnenleest en vervolgens afdruckt in grafiek vorm (zie bijlage VII) Aangezien we 60 meetpunten nodig hadden hebben we dus eerst nog een hele reeks thermokoppels bijgemaakt en vervolgens gecontroleerd als deze allemaal goed waren. Dan hebben we deze op strategische plaatsen bevestigd(zie figuur3.57).



Figuur 3.57:Plaatsingbepaling thermokoppels

## Thermokoppel

Een thermokoppel bestaat uit 2 draden van twee verschillende metalen of metaallegeringen die aan elkaar zijn verbonden en dit bij voorkeur door ineensmelting. Als er tussen beide contactpunten een temperatuurverschil heerst, zal een potentiaalverschil ontstaan, waarvan de sterkte afhankelijk is van het temperatuurverschil. Het potentiaalverschil is in de orde van 6 tot 60 microvolt per °C ( $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ). Door gebruik te maken van dit verschijnsel kan het thermokoppel uitstekend gebruikt worden als sensor voor een temperatuurmeting. Een thermokoppel meet een temperatuurverschil tussen twee punten, dit in tegenstelling tot een thermometer, waarmee de temperatuur ten opzichte van een bepaalde standaard wordt gemeten. Meettechnisch is het gebruik echter niet eenvoudig vanwege het uiterst kleine signaal, verouderingsverschijnselen, verstoring van het warmteveld en de tijdsconstante van het gemaakte meetpunt.



Figuur 3.58: Schematische voorstelling thermokoppel

Nadat alles aangesloten was konden we beginnen met de eerste metingen. Het eerste wat ons opviel was dat we een groot temperatuursverlies hadden van het water tussen de warmtepomp en de collector. Om dit probleem op te lossen moesten de leidingen geïsoleerd worden.

Nadat dit gebeurd was hadden we hogere temperaturen aan de collector het temperatuurverlies was met 7 à 9°C verminderd.



Figuur 3.59: Isolatie waterbuizen



Vervolgens zijn we begonnen met het controleren van de waarden en het bekijken van de temperaturen. Op de oppervlakken van het zitvlak, rugleuning en het vloeroppervlak verkregen we temperaturen tot 26°C, maar doordat het toestel werkt met een aan/uit regeling was het duidelijk voelbaar in de banken wanneer het toestel even uitgeschakeld was. Om dit aan te passen hebben we het temperatuurverschil tussen het aanschakelen en het uitschakelen aangepast.

#### Bepalen van het verwarmingstemperatuurverschil

Om de verwarmingsbelasting te besturen is de EUWY-unit uitgerust met een eentrapthermostaat. Het "verwarmingstemperatuurverschil" van de thermostaat kan worden gewijzigd met behulp van de directe parameter r4.

De fabrieks-, grens- en trapwaarden zijn:

- Fabriekswaarde 3.0°C



- Grenswaarden 0.3 tot 19.9°C

- Trapwaarde 0.1°C

Ga als volgt te werk om het verwarmingstemperatuurverschil te bepalen:

- 1 Selecteer de lijst met directe parameters.
- 2 Druk drie keer op de (A)-toets.  
De directe parametercode r4 verschijnt op het scherm.
- 3 Druk op de (B)-toets om de parameterwaarde te wijzigen.
- 4 Selecteer de geschikte waarde met behulp van de (A)- en/of (B)-toetsen.
- 5 Druk op de (B)-toets om naar de lijst van parametercodes over te schakelen.
- 6 Om andere directe parameters te wijzigen of te raadplegen vooraleer de wijzigingen te bewaren, dient u een andere directe parameter te selecteren met behulp van de (A)- en/of (B)-toetsen. Herhaal vervolgens de procedure vanaf instructie 3.
- 7 Druk op de (B)-toets om de wijzigingen te bewaren. Wacht ongeveer 40 seconden om de wijziging op te heffen.  
In het eerste geval zal de besturing de wijzigingen bewaren, de lijst met directe parameters verlaten en de normale werking hernemen, waarbij de waterinlaattemperatuur verschijnt. In het tweede geval zal het scherm beginnen knipperen. Ongeveer 40 seconden later zal de besturing de lijst van directe parameters verlaten zonder de gewijzigde parameter te bewaren. Vervolgens verschijnt de waterinlaattemperatuur opnieuw op het scherm.

#### Gebruikersinterface

De digitale besturing bestaat uit een numeriek scherm, vier gemerkte druktoetsen en vier controlelampjes die extra informatie geven voor de gebruiker.



Figuur 3.60: Handleiding om differentie in te stellen

Dit was eenvoudig te doen door in de regelaar van het toestel de parameter voor verwarmingstemperatuurverschil aan te passen. De fabriekswaarde van 3°C werd aan gepast naar 1,5°C.



Nu was de oppervlaktetemperatuur al een stuk stabielier. Volgens de waarden die we waarnamen op de datalogger zagen we een duidelijk verschil tussen de oppervlakte temperatuur van het zitvlak en rugleuning ten opzichte van het oppervlak dat aan de achterzijde van de bank bevind.

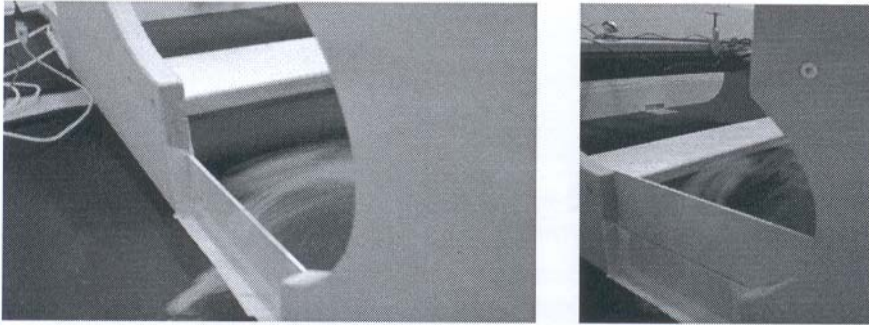


Figuur 3.61: Installatie verwarming in achterkant bankenstelsel

Een mogelijke verklaring hiervoor is dat dit oppervlak geen isolatie heeft. Vandaar dat de warmte niet door het hout gaat maar voor een heel groot deel afgegeven wordt aan de lucht in de banken.

Hiervoor hadden we niet direct een oplossing, omdat alles al geconstrueerd was. Het enige wat we konden vaststellen was dat we toch beter het oorspronkelijke idee, om overal te isoleren, hadden moeten nemen.

Vervolgens hebben we beroep gedaan op wat proefpersonen om te vragen hoe zij zich voelden in de banken. Wat we bij allemaal hoorden was dat de proefpersonen zich een tocht gewaar werden langs de zijkanten. Dit verschijnsel hadden we ook gezien in het doctoraat. De enige oplossing was om volledig rond de banken een wand te plaatsen zodanig dat er geen koude lucht onderaan wordt aangezogen door het convectie verschijnsel.



Figuur 3.62: Figuur uit doctoraat: aantonen zijdelingse tocht



Figuur 3.63: Aanbrengen deuren aan de banken

Om dit probleem van de baan te hebben, hebben we vervolgens overal rond de banken houten panelen gemonteerd. Direct was er een hele verbetering te voelen en verkregen we een aangenaam gevoel.

Wat ook een groot pluspunt is, dat we een halve meter en een meter boven de banken hebben gemeten. Daar konden we geen opwarming vaststellen. Dit duidt erop dat we zeer weinig warmte verliezen aan de omgeving in de kerk en dus enkel zeer plaatselijk in de banken verwarmen.

Vervolgens was de tijd gekomen voor een test tijdens een eucharistie viering met verschillende proefpersonen. Om de bank te testen hadden we de verantwoordelijken uitgenodigd voor de grote test.

We hebben uit de doctoraatsthesis een enquête gehaald die we lieten invullen door de testpersonen. We wilden de comfortervaring gedurende een eucharistieviering inventariseren.

De proefpersonen moesten quoteren op 4 verschillende factoren:

- Thermal sensation (“how are you feeling now?”)
- Thermal comfort (Do you find this...?)
- Perception of air movement.
- Thermal preference scale

Uit deze bovenstaande categorieën hebben we een gemiddelde genomen om zo te laten zien hoe een persoon zich voelt gedurende een eucharistieviering.

### 1. Thermal sensation (“How are you feeling now?”)

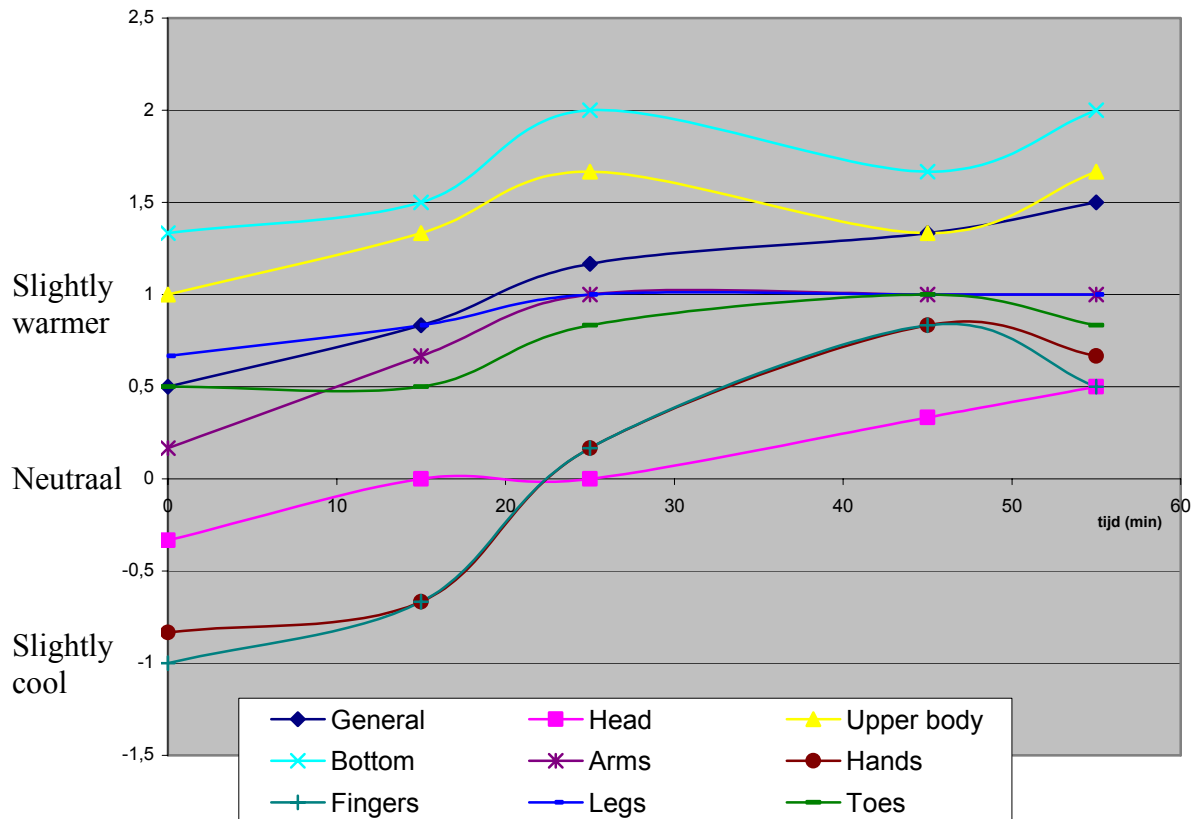
	Pre	Time (minutes since entering the climate room)					
		0	15	25	45	55	70
General		0,50	0,83	1,17	1,33	1,50	
Head		-0,33	0,00	0,00	0,33	0,50	
Upper body		1,00	1,33	1,67	1,33	1,67	
Bottom		1,33	1,50	2,00	1,67	2,00	
Arms		0,17	0,67	1,00	1,00	1,00	
Hands		-0,83	-0,67	0,17	0,83	0,67	
Fingers		-1,00	-0,67	0,17	0,83	0,50	
Legs		0,67	0,83	1,00	1,00	1,00	
Toes		0,50	0,50	0,83	1,00	0,83	

Legende:

3	Hot
2	Warm
1	Slightly warm
0	Neutral
-1	Slightly cool
-2	Cool
-3	Cold
-4	Very cold

Uitgezet in grafiekvorm :

### Thermisch gevoel



### **Besluit:**

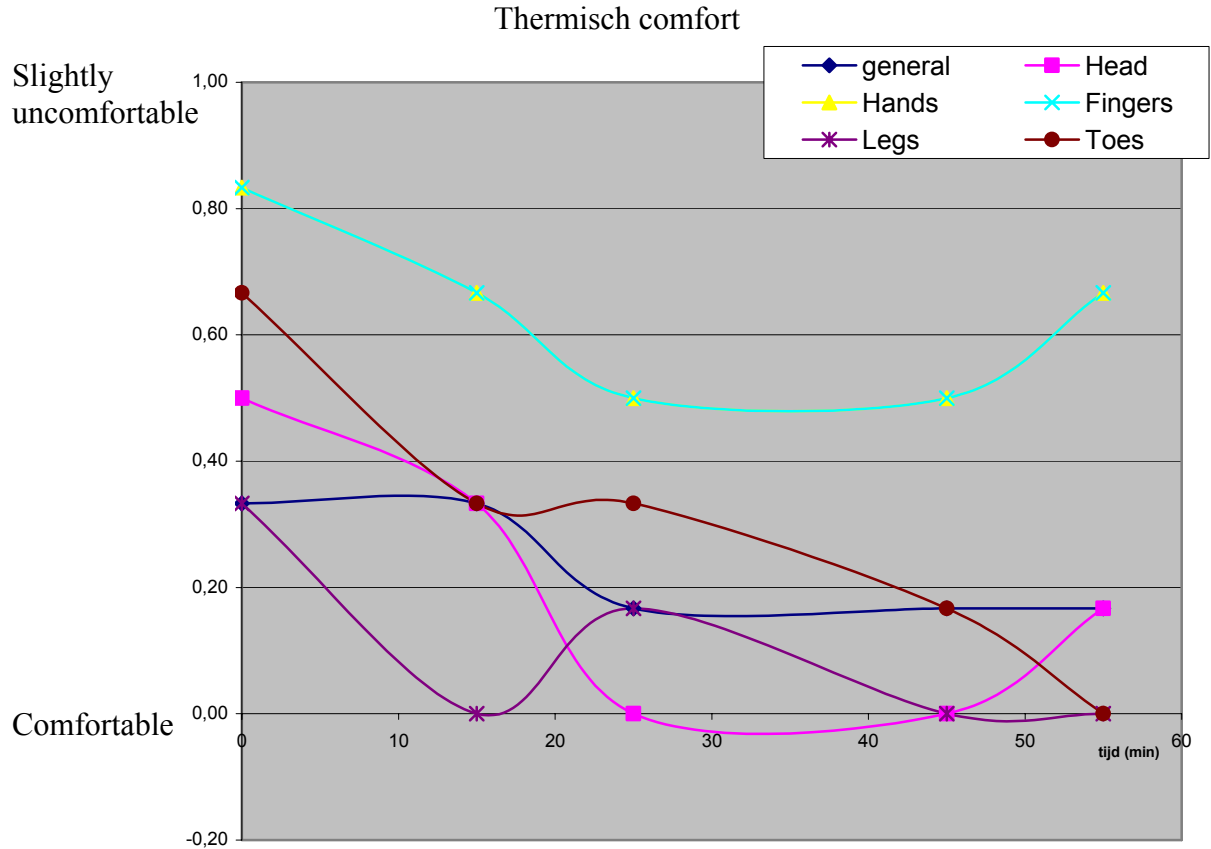
Hieruit kan men duidelijk concluderen dat het hoofd en de vingers duidelijk de koudste plaatsen zijn. De terugval na 45 minuten wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een langere tijd van rechtstaan tijdens de eucharistieviering. Hierdoor is het contact met de bank verbroken en dus ook met de oppervlakte verwarming. Hierdoor verkrijgen de mensen dus een kouder gevoel. Men kan wel duidelijk zien dat het comfort gevoel in een stijgende lijn gaat. Het comfortgevoel stijgt het meest tijdens het eerste kwartier en blijft nadien nagenoeg constant op eerder warm tot neutraal.

## 2. Thermal comfort (“Do you find this ...”?)

	Pre	Time (minutes since entering the climate room)					
		0	15	25	45	55	70
General		0,33	0,33	0,17	0,17	0,17	
Head		0,50	0,33	0,00	0,00	0,17	
Hands		0,83	0,67	0,50	0,50	0,67	
Fingers		0,83	0,67	0,50	0,50	0,67	
Legs		0,33	0,00	0,17	0,00	0,00	
Toes		0,67	0,33	0,33	0,17	0,00	

### Legende:

0	Comfortable
1	Slightly uncomfortable
2	Uncomfortable
3	Very uncomfortable
4	Extremely uncomfortable



### Besluit:

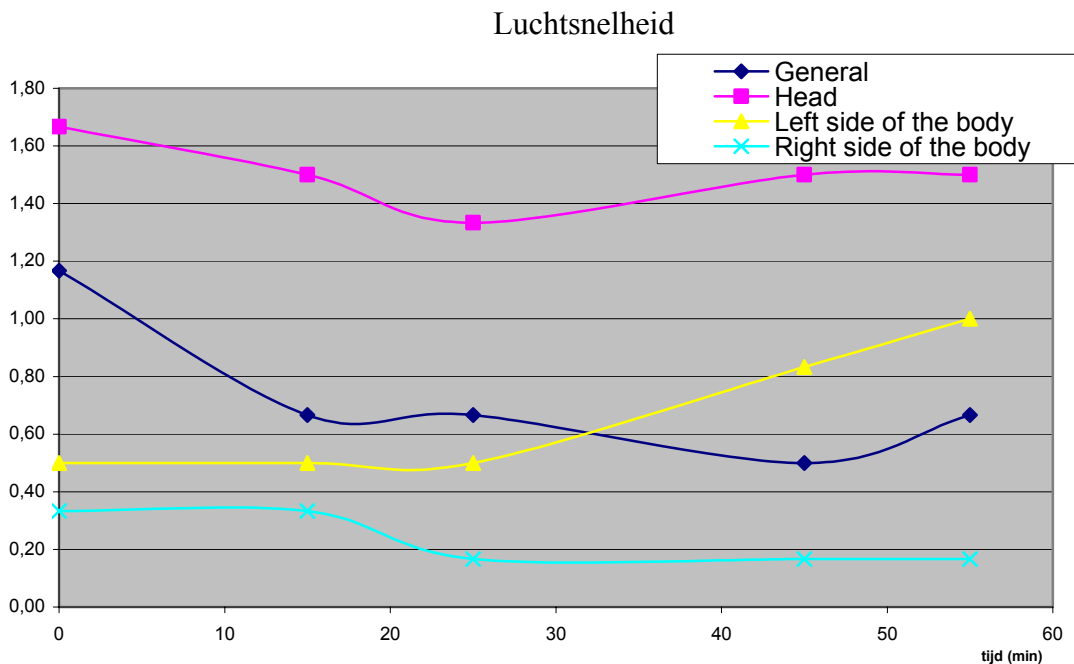
Ook hier zie je een verbetering van het comfort gevoel naar gelang de personen een tijdje in de banken zitten. De vingers zijn duidelijk de koudste plaatsen. Dit is normaal, want de vingers krijgen over het algemeen altijd eerst koud. Wat hier opvalt is dat bepaalde personen melden dat je door de handen op de bank te leggen je vingers kan opwarmen. Terug ziet men in de grafiek dat men na de 45 minuten voor een langere tijd heeft rechtgestaan.

### 3. Perception of air movements.

	Time (minutes since entering the climate room)						
	Pre	0	15	25	45	55	70
General		1,17	0,67	0,67	0,50	0,67	
Head		1,67	1,50	1,33	1,50	1,50	
Left side of the body		0,50	0,50	0,50	0,83	1,00	
Right side of the body		0,33	0,33	0,17	0,17	0,17	

#### Legende:

0	Doesn't feel the presence of any air movement
1	Feels a weak air movement, but not constantly
2	Continuously feels a weak air movement
3	Continuously feel an air movement with moderate intensity
4	Continuously feels an intense air movement



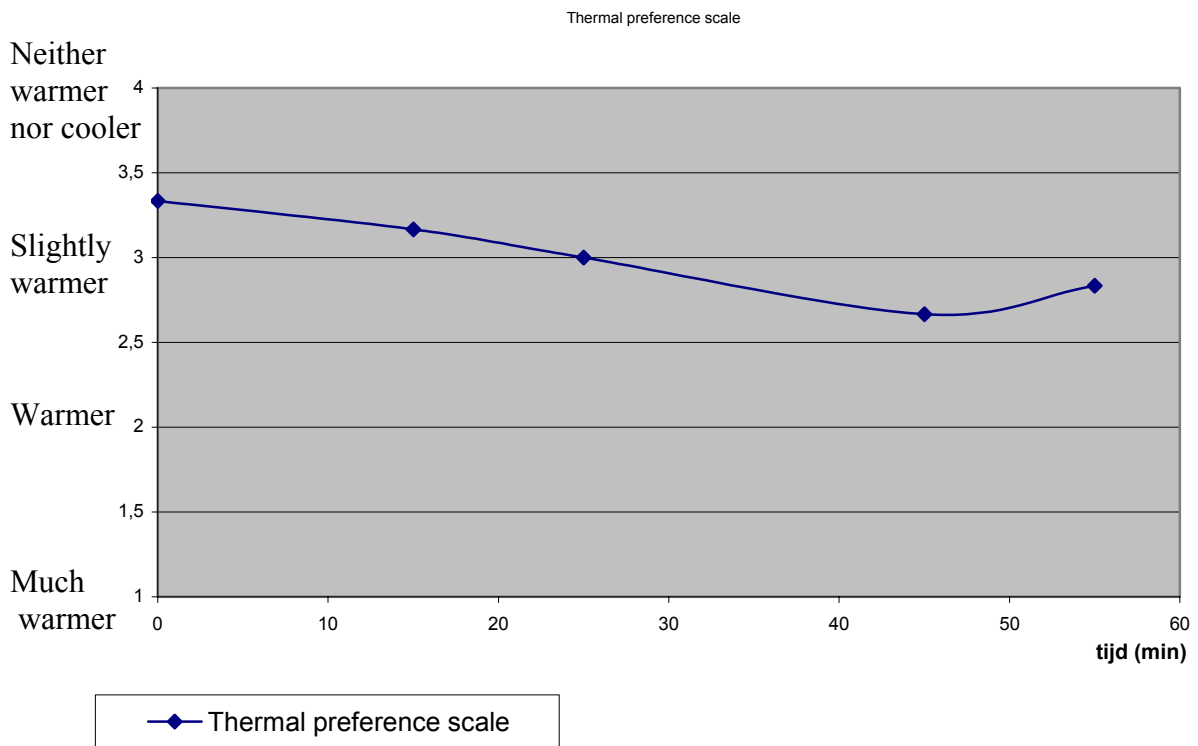
#### Conclusie:

Het is duidelijk dat de personen constant een zwakke lucht verplaatsing voelen ter hoogte van het hoofd. Verder zijn de waarden allemaal wel aannemelijk tot goed. Wat we wel nog willen vermelden is dat de persoon die uiterst links zat wel een sterk tocht gevoel had vooral van de linker kant. We hebben dit gecontroleerd en we vermoeden dat dit komt doordat de linker kant net onder ramen zit en vandaar een grotere koude val teweeg brengt.

#### 4. Thermal preference scale

**Legende:**

Much warmer	1
Warmer	2
Slightly warmer	3
Neither warmer nor cooler	4
Slightly cooler	5
cooler	6
much cooler	7



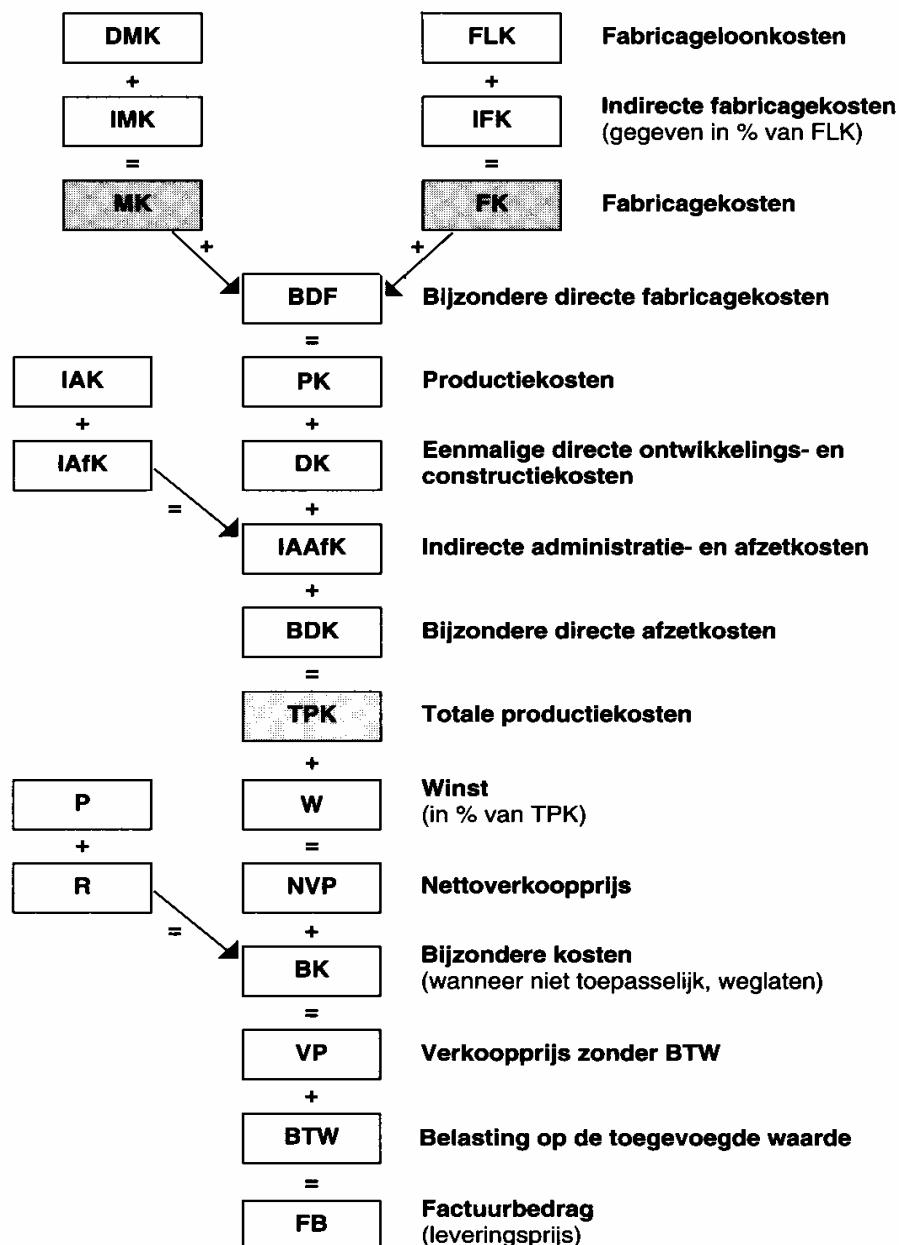


**Algemene besluit enquête:**

- Om van het comfort in de banken te genieten moet men gaan zitten.
- Tocht inslaat onder verticale wanden.
- Om tocht te vermijden moeten de banken gesloten zijn. De rug mag verder afgesloten worden en meer stralen (afwerken zoals vloer).
- Afwerking van de banken moet ook aan de randen verzekerd zijn.
- Temperatuurschommelingen van het water worden door de gebruikers ervaren. De schakel hysteresis is  $1,5^{\circ}\text{C}$  deze waarde kan nog verminderd worden of men kan een modulerende regeling toepassen.
- Koude handen en vingers konden door de zitplaatsen opgewarmd worden.
- Zitplank voelt warmer aan den rugleuning.

## 4. Kostprijsberekening

### 4.1 Berekeningsschema voor toeslagberekening



Figuur 4.1: Schematische voorstelling kostprijsberekening

#### Besluit:

Om de kostprijs van de kerkbanken te bepalen zoekt men de totale productiekosten.

## 4.2 Bepalen van de materiaalkosten

Het totaal van de materiaalkosten is de som van de verschillende onderdelen van de kerkbanken.

De materiaalkosten:

Hout Multiplex canarium 2500X12220X18	€	1220,77
Hout Multiplex canarium 2500X12220X8	€	323,32
Collector G1A promober 553d0806+ adapters18x2 R560 R 18 AA Knelfitting 12st R179AM 18X16/12 adapter 24st	€	443,52
Droog Vloerverwarmingssysteem	€	2737,90
Damp scherm 24m <sup>2</sup>	€	28,78
Vijzen 4X16	€	22,25
Vijzen 5X60	€	11,53
Vijzen 5X60/38	€	56,98
Vijzen 4X35	€	7,00
Hoekverbindingen	€	24,67
Nagels en nieten	€	12,50
Attachen	€	15,47
Gebruik van machines – huur	€	250
Sokken RR zwart 6/4	€	4,00
Teflonband 0,08X12mm p/rol 12m	€	0,50
Pilot band 20mX5cmX0,20mm zt	€	15,00
SH/ Armaflex zelfkl 11x42AP/L	€	225,60
Walther cee stekker 63A 5*380V IP67	€	29,79
Pictogramdriehoek veiligheid 50mm	€	4,62
Trechter pvc 100mm	€	1,46
Spanring verzinkt ms 022 22x32	€	1,92
Snelbinder nyl 4,8x300*100e4,8-300-ozw	€	4,10
Zaagboor hout klein9-12-51/3806	€	18,63
Scharnieren verzinkt	€	9,30
T profiel 20s20s2-2m 68011190	€	66,70
Boor SS 3,5	€	0,90
Transport	€	480
Chauffeur	€	140
Toestel Daikin		Bruikleen
<b>Totaal</b>	<b>€</b>	<b>6157,21</b>

### **4.3 Bepalen van fabricagekosten**

De fabricagekosten berekent men door het aantal uren dat men gewerkt heeft, om de kerkbanken af te werken, te vermenigvuldigen met het loon per uur. Aangezien wij als studenten gratis werkten is dit niet van het beschikbare budget getrokken. De loonkost per uur is gebaseerd op het geen dat een installateur nu ongeveer vraagt.

Uit ons logboek blijkt dat we in totaal ongeveer 278 uren gewerkt hebben om de banken te maken en aan te sluiten. Dus de fabricage kosten worden:

$$278_{uur} \cdot \text{€}30 = \text{€}8618$$

Dit is direct een heel groot bedrag maar dit was ook de bouw aan het prototype, bij grotere producties zullen de uren dalen omdat men dan beter weet hoe de opbouw gebeurt.

### **4.4 Bepalen van de totale productiekosten**

De productiekosten bedragen €14775,21 omdat dit de som is van de materiaalkosten en fabricagekosten. Dit getal is niet helemaal correct omdat de kostprijs van het Daikin toestel hierin ombreekt. Om de totale productiekosten te weten moet men nog de administratie- en afzetkosten erbij rekenen die ongeveer 50 euro bedragen

De totale productiekosten bedraagt dan €14825,21

### **4.5 Bepalen van factuurbedrag**

Het factuurbedrag is samengesteld uit de totale productiekosten en de winst; aan dit bedrag werd de BTW toegevoegd.

#### **Besluit**

Geen rekening met de winst factor gehouden is het factuurbedrag.

$$\text{€}14825,21 \cdot 21\% = \text{€}17938,50$$

Nogmaals, in deze calculatie is de kostprijs van het toestel en de winstfactor niet opgenomen. Verder zoals eerder vermeld, tellen de gepresteerde uren niet mee in dit eindwerk dus de kostprijs van het prototype is ongeveer  $\text{€}6157,21 + 21\% = \text{€}7450,22$ . Er moeten nog enkele details bijgewerkt worden dus de totale kostprijs zal vermoedelijk rond de €8700 inclusief BTW zijn.

## 5. Energieverbruik warmtepomp

Nu we berekend hebben hoeveel de banken zouden kosten, willen we de energiekost berekenen om met ons systeem te verwarmen. Het is niet alleen de bedoeling om de kerkgangers een comfortabel gevoel te geven, maar we willen dit ook doen tegen een lager stookkost. Normaal wordt er een vermogenmeter geplaatst maar dit is nog niet gebeurd. We kunnen ook op een onrechtstreekse wijze de energiefactuur voorspellen. De aan- en terugvoertemperatuur van het water werd gelogd (zie bijlage VII). We zien duidelijk het in en uit schakel gedrag van de warmtepomp. De binnentemperatuur bedroeg 9°C.

Bij het opstarten draait het toestel 45 minuten non-stop, dan valt het toestel zonder meer uit, dit is een defrost veiligheid ingebouwd in het toestel. Vervolgens als de watertemperatuur daalt tot aan een bepaalde waarde schakelt het toestel weer in enzovoort.

We starten het toestel 1 uur voor de kerkdienst begint. We gaan er vanuit dat een gemiddelde eucharistie viering ongeveer 1 uur duurt. We bekijken onze cyclussen en hebben het toestel uitgeschakeld na 2uur en 9,6 minuten. Van deze 2 uur en 9,6 minuten heeft het toestel slechts 75,3 minuten effectief gewerkt. Vanuit dit standpunt gaan we verder met onze berekening.

2-1 TECHNICAL SPECIFICATIONS			EUWYN5KAZW1	EUWYP5KAZW1	EUWYB5KAZW1	EUWYN8KAZW1	EUWYP8KAZW1	EUWYB8KAZW1
Nominal Capacity	Cooling	kW	9.10	9.10	9.10	17.10	17.10	17.10
	Heating	kW	11.90	11.90	11.90	18.50	18.50	18.50
Capacity Steps		%	0-100					
Nominal Input	Cooling	kW	3.78	3.78	3.78	7.45	7.46	7.46
	Heating	kW	4.59	4.59	4.59	7.10	7.10	7.10

Uit de technische gegevens zien we dat het gemiddelde verbruik van het toestel in heating mode 7,10 kW bedraagt.

Aangezien het toestel 75,3 minuten gedraait heeft, hebben we een energieverbruik van:

$$75,3 \text{ min} = 1,25h$$

$$W = P \cdot t$$

$$7,10kW \cdot 1,25h = 8,875kWh$$

$W$  Elektrische arbeid in [kWh]

$t$  Tijd in [h]

$P$  Vermogen in [W]

De prijs van elektriciteit is afhankelijk van de leverancier, maar we nemen een gemiddelde waarde van ongeveer 0,15 €/kWh. Met deze waarde krijgen we volgende berekening:

$$8,875kWh \cdot 0,15 \frac{\text{€}}{kWh} = 1,33\text{€}$$

Dus tijdens 1 dienst zal de kost ongeveer 0,56 € bedragen voor het verwarmen van 35 zitplaatsen. Dit is ongeveer  $1,33\text{€} \div 35 = 0,038 \frac{\text{€}}{\text{persoon}}$ .

### **Besluit**

Om 35 personen één uur lang thermisch comfort te bieden in een winter situatie, waarbij de binnentemperatuur in de kerk is teruggelopen tot 9°C, kost €1,33 dit wil zeggen 0,038 euro per persoon.

## Algemene conclusie eindwerk

- Het realiseren van een microklimaat in een bankenstel kan alleen met **water als transportmedium**. Niet te vermijden inductie bij luchtsystemen veroorzaakt tocht en vernietigt het microklimaat.
- Het principe van een droge vloerverwarming, toegepast op (bijna) alle oppervlakken van de banken, is onder bepaalde voorwaarden **in staat een microklimaat te realiseren** binnen de banken. Dit principe **kan het nodige vermogen aanbrenge**n.
- **Tocht** blijft een niet te onderschatten probleem en kan alleen **vermeden** worden door **voldoende hoge zijdeurtjes** aan de banken en een volledig **afgesloten compartimentering** per rij banken te voorzien. Verder moet een opstelling in de buurt van of onder verticale wanden vermeden worden.
- De **samenstelling en dikte van de materialen** waaruit de bank en de vloer is opgebouwd is **sterk bepalend voor succes** van het eindresultaat
- De watervoerende bankenverwarming is **geruisloos en is binnen het uur op regimetemperatuur**. Ondermeer daardoor is het **energieverbruik extreem laag**.
- Uiteenlopende energiedragers (gas, stookolie, elektriciteit) kunnen gebruikt worden. Wegens de lage watertemperatuur kunnen nieuwe technieken zoals **gascondensatie en warmtepomp** toegepast worden. Deze zullen de **energiefactuur** nog verder doen **dalen**.
- Voorlopige metingen tonen aan dat er **geen meetbare beïnvloeding is van het binnenklimaat van de kerk**.

## Voorstellen voor volgend jaar

- Uitgebreide metingen en logging in koudere periode met ook onderzoek naar beïnvloeding van het binnenklimaat van de kerk.
- Esthetisch aanpak verzoenen met functionaliteit
- Aanpassingen: compartimentering / materiaaldiktes
- Aansluiten bij gascondensatie (sacristie) als energiedrager + energiemeting + driewegkraan

## **Bronvermelding**

Vloerverwarming, Royal Comfort Droge Vloerverwarming, Internet, (31-05-'07).  
([http://www.steka.be/foto's\\_royal.htm](http://www.steka.be/foto's_royal.htm))

Vloerverwarming, leverancier Thermoduct, Internet, (31-05-'07).  
(<http://www.thermoduct.be/>)

Luchtverdeling, Het belang van een goede luchtverdeling, (31-05-'07).  
(<http://www.pubdenayer.wenk.be/ventilatie/Studiedag/Trox%20Luchtverdeling.pdf>)

Luchtverdeling, Luchtverhitters GEA Multimaxx, (31-05-'07).  
([http://www.gea-happel.be/Media/Gea\\_Product\\_Tool\\_Downloads/multimaxbrochureNL.pdf?CFID=782058&CFTOKEN=24768866](http://www.gea-happel.be/Media/Gea_Product_Tool_Downloads/multimaxbrochureNL.pdf?CFID=782058&CFTOKEN=24768866))

Denie, P., Bouwfysica 2<sup>de</sup> jaar bachelor elektromechanica optie klimatisatie, niet-gepubliceerde cursus, Aalst, KAHO Sint-Lieven

Denijs, J. , Warmteoverdracht 2<sup>de</sup> jaar bachelor elektromechanica optie klimatisatie, niet-gepubliceerde cursus, Aalst, KAHO Sint-Lieven

Naessens, S., De Nys, H, Studie verwarming St.Martinuskerk Aalst, niet-gepubliceerde eindwerk 2005-06, Aalst, KAHO Sint-Lieven

Van Biervliet, J., Technische uitrusting 3<sup>de</sup> jaar bachelor elektromechanica optie klimatisatie, niet-gepubliceerde cursus, Aalst, KAHO Sint-Lieven

Limpens-Neilen, D., Bench Heating in Monumental Churches, proefschrift Technische Universiteit Eindhoven

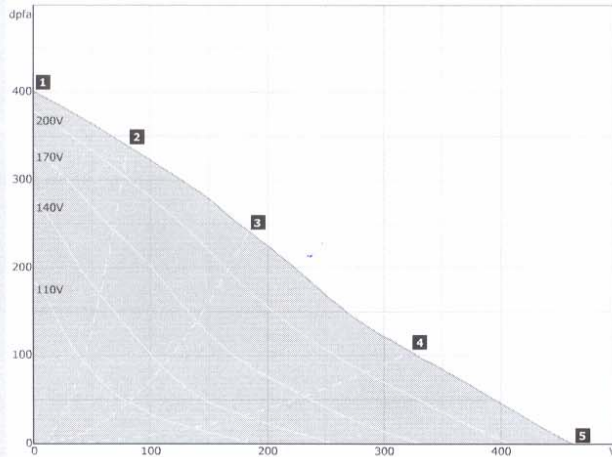


## **Bijlagen**



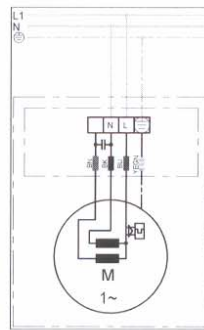
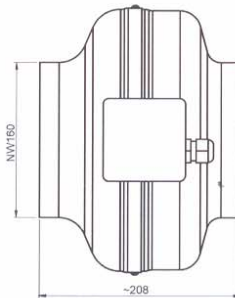
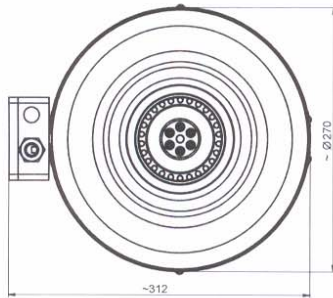
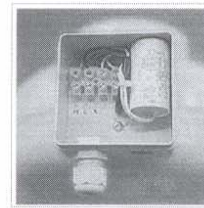
RS 160

104200



Technische gegevens	
Spanning $U_N$	230 V / AC 1Ph
Frequentie $f$	60 Hz
Benodigd vermogen $P_1$	80 W
Benodigde stroom $I_N$	0,4 A
Toerental $n_N$	2475 1/min
Max. stroom regelunit $I_{max}$	0,4 A
Condensator C	2 $\mu$ F / 400 V
Gewicht	3 kg
Omgevings temp. $t_{Umax}$	75 °C
Medium temp. $t_{Rmax}$	75 °C
Isolatieklasse	F
Aantal polen	2
Draairichting	rechts

Bedrijfsspanning	230 V / 60 Hz				
	1	2	3	4	5
Bedrijfspunt	1	2	3	4	5
Totale stroom $I_A$ [A]	0,26	0,29	0,33	0,36	0,35
Benodigd vermogen $P_1$ [W]	55	65	75	80	80
Toerental $n$ [1/min]	3260	3060	2760	2480	2580



Stand 23.5.05



**RS 160**

**104200**

**RS. Inline Buisventilator**

**50Hz + 60Hz**

**Uitvoering**

- achterover gekromde schoep
- eenzijdig aanzuigend looprad, geperst staal met kunststof schoepen
- ventilatorunit in 2 vlakken gebalanceerd volgens G 2.5 DIN ISO 1940
- buitenloopmotor 2-polig 230 V
- regeling toerental met voedingsspanning
- geïntegreerde thermische beveiliging schakelt automatisch
- onderhoudsvrije kogellagers
- tegen corrosie beschermde stator
- plaatstaal huis met poeder-coating RAL 7035
- condensator is inwendig aangesloten
- aansluitkast met kabeldoorvoer volgens IP44

**Toebehoren**

Op aanvraag

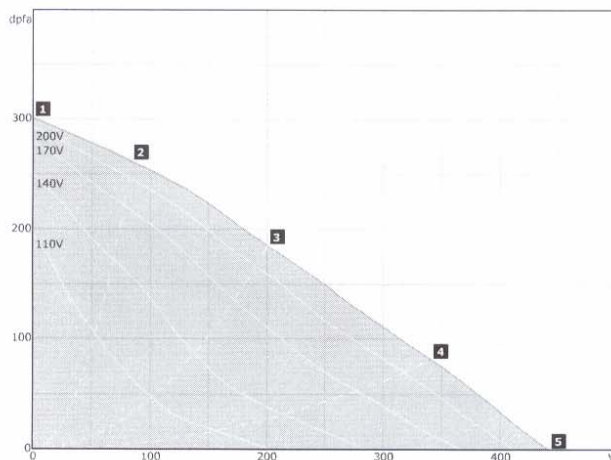
**Specials**

Op aanvraag

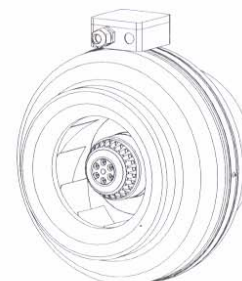


**Technische gegevens**

Spanning $U_N$	230 V / AC 1Ph
Frequentie $f$	50 Hz
Benodigd vermogen $P_1$	65 W
Benodigde stroom $I_N$	0,3 A
Toerental $n_N$	2405 1/min
Max. stroom regelunit $I_{max}$	0,3 A
Condensator C	2 $\mu$ F / 400 V
Gewicht	3 kg
Omgevings temp. $t_{Umax}$	75 °C
Medium temp. $t_{Rmax}$	75 °C
Isolatieklasse	F
Aantal polen	2
Draairichting	rechts



Bedrijfsspanning	230 V / 50 Hz				
Bedrijfspunt	1	2	3	4	5
Totale stroom $I_A$ [A]	0,20	0,22	0,26	0,28	0,27
Benodigd vermogen $P_1$ [W]	46	50	60	65	60
Toerental $n$ [1/min]	2800	2690	2510	2400	2450



**Jan Bosschaert**

---

**Van:** Chris Coeckelbergs [chriscoeckelbergs@hotmail.com] **Verzonden:** za 18/11/2006 18:19  
**Aan:** Jan Bosschaert; Nick Demaecker  
**CC:**  
**Onderwerp:** averbode  
**Bijlagen:**

Dag Jan en Nick,

Deze namiddag ben ik zoals afgesproken naar Averbode geweest. Gelieve in uw ontwerp met volgende afmetingen rekening te houden.

Breedte van de zitplank minstens 38 cm

Hoogte van de rugleuning 50 cm

Hoogte tussen bovenkant zitplank en bovenkant vloerverwarming 49 cm

De totale dikte van de tree voor de vloerverwarming mag beperkt worden tot 8 cm

De helling van de rugleuning was 2,6 cm op 40 cm maar dat was duidelijk onvoldoende, neem dus meer bvb 4 cm op 50 cm

Boekenplank 20,5 cm breedte maar volledig horizontaal

De toegang tussen de banken onderling was slechts 35 cm breed maar dit werd gecompenseerd door het feit dat de benen tot ver onder de boekenplank tot

pal tegen de rugleuning konden komen (51 cm nuttige zuimte tussen voorkant zitbank en rugleuning). Dit is bij ons niet mogelijk; alhoewel, als we de

dikte van de rugleuning tot iets meer dan de dikte van de isolatie zouden beperken we een gelijkaardig resultaat kunnen bekomen. De mechanische

sterkte werd er bekomen door over de totale breedte behalve de buitenzijde nog twee( om de 100 cm) verticale steunbalken van 7x7 cm te voorzien.

De banken hadden een totale breedte van 326 cm; ; behalve de buitenzijde waren ze om de meter op de bodem gezet door een poot van 7x7 cm

Groeten



# EUWY\*-KAZW

*luchtgekoeld*



EUWYN16KAZW



### EUWYN:

standaard uitrusting

- Scrollcompressor
- Hoofdschakelaar
- Waterstromingsschakelaar
- Filter
- Beschermerooster voor condensor
- Continubedrijf

### EUWYP = EUWYN +

- Pomp
- Expansievat
- Waterregelventiel
- Ontluchtingsventiel
- Waterdrukmeter
- Overdrukventiel

### EUWYB = EUWYP +

- Buffertank


































- Geoptimaliseerd voor gebruik met koelmiddel R-407C
- Daikin-scrollcompressor
- Snellere installatie dankzij geïntegreerde pomp en/of buffertank
- Mogelijkheid tot gebruik van een buffertank van 200 l
- Geïntegreerde hydraulische componenten
- Laag geluidsniveau
- Onderhoudsvriendelijker
- Hoofdschakelaar
- Waterstromingsschakelaar
- Elektronische DDC-controller



## WARMTEPOMP

			EUWY*5KAZW			EUWY*8KAZW			EUWY*10KAZW			EUWY*12KAZW			EUWY*16KAZW			EUWY*20KAZW			EUWY*24KAZW					
			N	P	B	N	P	B	N	P	B	N	P	B	N	P	B	N	P	B	N	P	B			
Nominaal capaciteit	koben	kW	50			70			100			150			200			300			500					
	verwarmen	kW	119			165			240			360			500			750			1200					
Opgevoeren vermogen	koben	kW	3,78	3,78	7,45	7,45	10,97	10,97	14,4	14,4	18,9	18,9	25,2	25,2	33,6	33,6	45,0	45,0	60,0	60,0	80,0	80,0				
	verwarmen	kW	4,59	4,59	9,18	9,18	13,77	13,77	18,36	18,36	24,48	24,48	32,64	32,64	43,52	43,52	57,60	57,60	76,80	76,80	102,40	102,40				
Kobeleverend (kW)			2,40	2,40	4,80	4,80	6,40	6,40	8,00	8,00	10,40	10,40	13,60	13,60	18,00	18,00	24,00	24,00	32,00	32,00	42,00	42,00				
Perforatorvermogen (COP)			2,60	2,60	2,60	2,60	2,64	2,64	2,50	2,50	2,61	2,61	2,64	2,64	2,50	2,50	2,61	2,61	2,64	2,64	2,50	2,50				
Afmetingen (HxBxD)		mm	1200x1200x734			1450x1200x734			1600x1200x734			1800x1200x734			2000x1200x734			2400x1200x734								
Nominaal statische hoogte uit	koben	kPa	-	22,8	-	31,1	-	41,5	-	55,0	-	72,8	-	96,0	-	126,0	-	165,0	-	216,0	-	288,0				
	verwarmen	kPa	-	20,5	-	28,0	-	37,0	-	48,0	-	63,0	-	81,0	-	105,0	-	138,0	-	180,0	-	234,0				
Nominaal drukverlies	koben	kPa	10			25			34			44			57			75			99					
	verwarmen	kPa	9			23			31			41			53			69			90					
Spaarrechtdome	l		-	12	-	12	-	12	-	12	-	12	-	12	-	12	-	12	-	12	-	12				
Buffertankvolume	l		-	55	-	55	-	55	-	55	-	55	-	55	-	55	-	55	-	55	-	55				
Gewicht machine	kg		163	181	199	227	241	258	272	284	298	312	334	355	373	395	420	445	480	516	534	546				
Geluidsemissieniveau	dB(A)		67			76			78			78			79			81			81					
Werkdruk - waterzijde	koben	°C	5°C L-10 °C als optie - 25°C																							
	verwarmen	°C	20°C - 50°C																							
Werkdruk - luchtzijde	koben	°C	-15°C - 40°C																							
	verwarmen	°C	-10°C - 31°C																							
Koelmiddeltype			R-407C																							
Vastlig	W1		400 W3 N-450 Hz																							
Leidingaansluitingen	Ingang/uitgang verdamper/water	mm	1-1/4"			1-1/4"			1-1/4"			2"			2"			2"			2"					
	waterzijde	mm	Ø15			Ø15			Ø15			Ø15			Ø15			Ø15			Ø15					



<b>Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties</b>		<b>A.R.E.I.</b>	Pagina : 2.1/28.19																																
2 Hoofdstuk II - Beschermingsmaatregelen			Datum : 2004-06-30																																
1 Deel I - Bescherming tegen elektrische schokken			<b>AIB-Vinçotte</b>																																
A. - Algemeen			Document: 28.19 A																																
Bepalingen			Vervangt : 28.19																																
			Artikel : 28																																
 <p>Toelichting AV bij artikel 28</p>	<p>(6) <i>Transformatoren:</i>  <i>Beschermings- en veiligheidstransformatoren zijn sinds 1989 het onderwerp van een geharmonioseerde norm op Europees niveau, met name de norm EN 60742 indentiek aan de norm NBN 52742 die op haar beurt gebaseerd is op de publicatie CEI 742. Sedert 1998 bestaan er ook de geregistreerde normen van de serie 61558.</i>  <i>Samenvattend kan men stellen :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>dat een scheidingstransformator alleen een functionele scheiding heeft tussen primaire en secundaire wikkeling en dat het risico van doorslag tussen primaire en secundaire <b>niet</b> verwaarloosbaar is;</i></li> <li>- <i>dat een beschermingstransformator alleen een versterkte isolatie heeft tussen primaire en secundaire wikkeling waardoor het risico van doorslag tussen primaire en secundaire als verwaarloosbaar kan beschouwd worden.</i></li> </ul> <p><i>De tabellen hierna beschrijven een reeks van kentekens en indicaties alsook hun betekenis, zoals we die kunnen terugvinden op de transformatoren uitgevoerd volgens de EN 60742</i></p>																																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>DEFINITIES</th> <th>BEPROEVING VOLGENS ARTIKEL</th> <th>VEILIGHEIDSKENMERK</th> <th>SCHEIDING</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NIET GEVAARLIJK IN GEVAL VAN STORINGEN</td> <td>14.5: geen vlam 14.5.2: kunnen buiten gebruik zijn</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>RESISTENT DOOR CONSTRUCTIE</td> <td>14.2: opwarming &lt; de waarden in tabel III in thermisch evenwicht</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>NIET RESISTENT</td> <td>14.4: opwarming &lt; de waarden van tabel III in de meest ongunstige omstandigheden, maar met aanwezigheid van het beschermingsmiddel, bepaald door de constructeur</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>RESISTENT DOOR INGEBOUWD MIDDEL</td> <td>14.3: het middel dient te werken zodat opwarming &lt; de waarden tabel III</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Zekering volgens CEI 269-2</td> <td>14.3.2: kortgesloten zekering en belast tot <math>kI_n</math> volgens tabel IV 14.3.3: kortgesloten zekering en belast gedurende 30 min. à <math>kI_n</math> (<math>k=2,1</math>) volgens tabel IV</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ander middel (verwisselbaar)</td> <td>14.3.4: middel belast met <math>0,95 \times I</math> (I volgens 14.3.5, 't is te zeggen de zwakste waarde die het middel doet werken) in thermisch evenwicht</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ander middel (niet verwisselbaar)</td> <td>14.3.4: middel belast met <math>0,95 \times I</math> (I volgens 14.3.5, 't is te zeggen de zwakste waarde die het middel doet werken) in thermisch evenwicht</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				DEFINITIES	BEPROEVING VOLGENS ARTIKEL	VEILIGHEIDSKENMERK	SCHEIDING	NIET GEVAARLIJK IN GEVAL VAN STORINGEN	14.5: geen vlam 14.5.2: kunnen buiten gebruik zijn			RESISTENT DOOR CONSTRUCTIE	14.2: opwarming < de waarden in tabel III in thermisch evenwicht			NIET RESISTENT	14.4: opwarming < de waarden van tabel III in de meest ongunstige omstandigheden, maar met aanwezigheid van het beschermingsmiddel, bepaald door de constructeur			RESISTENT DOOR INGEBOUWD MIDDEL	14.3: het middel dient te werken zodat opwarming < de waarden tabel III			Zekering volgens CEI 269-2	14.3.2: kortgesloten zekering en belast tot $kI_n$ volgens tabel IV 14.3.3: kortgesloten zekering en belast gedurende 30 min. à $kI_n$ ( $k=2,1$ ) volgens tabel IV			Ander middel (verwisselbaar)	14.3.4: middel belast met $0,95 \times I$ (I volgens 14.3.5, 't is te zeggen de zwakste waarde die het middel doet werken) in thermisch evenwicht			Ander middel (niet verwisselbaar)	14.3.4: middel belast met $0,95 \times I$ (I volgens 14.3.5, 't is te zeggen de zwakste waarde die het middel doet werken) in thermisch evenwicht	
DEFINITIES	BEPROEVING VOLGENS ARTIKEL	VEILIGHEIDSKENMERK	SCHEIDING																																
NIET GEVAARLIJK IN GEVAL VAN STORINGEN	14.5: geen vlam 14.5.2: kunnen buiten gebruik zijn																																		
RESISTENT DOOR CONSTRUCTIE	14.2: opwarming < de waarden in tabel III in thermisch evenwicht																																		
NIET RESISTENT	14.4: opwarming < de waarden van tabel III in de meest ongunstige omstandigheden, maar met aanwezigheid van het beschermingsmiddel, bepaald door de constructeur																																		
RESISTENT DOOR INGEBOUWD MIDDEL	14.3: het middel dient te werken zodat opwarming < de waarden tabel III																																		
Zekering volgens CEI 269-2	14.3.2: kortgesloten zekering en belast tot $kI_n$ volgens tabel IV 14.3.3: kortgesloten zekering en belast gedurende 30 min. à $kI_n$ ( $k=2,1$ ) volgens tabel IV																																		
Ander middel (verwisselbaar)	14.3.4: middel belast met $0,95 \times I$ (I volgens 14.3.5, 't is te zeggen de zwakste waarde die het middel doet werken) in thermisch evenwicht																																		
Ander middel (niet verwisselbaar)	14.3.4: middel belast met $0,95 \times I$ (I volgens 14.3.5, 't is te zeggen de zwakste waarde die het middel doet werken) in thermisch evenwicht																																		

<b>Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties</b>	<b>A.R.E.I.</b>	Pagina : 2.1/28.20
2 Hoofdstuk II - Beschermingsmaatregelen		Datum : 2004-06-30
1 Deel I - Bescherming tegen elektrische schokken		<b>AIB-Vinçotte</b>
A. - Algemeen		Document: 28.2 <sup>a</sup> A
Bepalingen		Vervangt : 2004-06-30
		Artikel : 28



Toelichting AV

bij artikel 28

**Aanduidingen van transformatoren:**

	Veiligheidstransformator (open)
	Veiligheidstransformator (gesloten)
	Beschermingstransformator
	Transformator voor looplamp
	Transformator voor besturingsstroombaan
	Transformator bestand tegen overbelasting en kortsluiting
	Niet-kortsluitvaste transformator
	Transformator voor een bel
	Autotransformator

**Aanduidingen van elektronische transformatoren:**

De elektronische transformatoren (volgens de normen: "Electronic step-down converters") die gebruikt worden voor zeer lage spanningsverlichting moeten voldoen aan de normen IEC 1047 of nog EN 61047.


In het geval van gescheiden omvormers die equivalent zijn met Z.L.V.S. wordt de volgende aanduiding gebruikt: "SELV-equivalent" of nog "gescheiden omvormers equivalent aan een Z.L.V.S."


SELV betekent: Safety Extra Low Voltage, d.w.z. Z.L.V.S


(13) Gewijzigd door K.B van 28-01-2004; B.S. van 17-02-2004.



(14) Indien de scheidingsklem (meetklem) en de hoofdaardingsklem geen geheel vormen moet de verbinding tussen de scheidingsklem en de hoofdaardingsklem uitgevoerd worden met een geleider met een minimum doorsnede van 16mm<sup>2</sup> (op de hoofdaardingsklem, vertrekken ook de hoofdequipotentiale verbindingen).







<b>Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties</b>		<b>A.R.E.I.</b>	Pagina : 2.1/28.21
2 Hoofdstuk II - Beschermingsmaatregelen			Datum : 2004-06-30
1 Deel I - Bescherming tegen elektrische schokken			<b>AIB-Vinçotte</b>
A. - Algemeen			Document: 28.21
Bepalingen			Vervangt :
			Artikel : 28
 <p>Toelichting AV bij artikel 28</p>	<p>(15) <i>De scheidingstransformatoren worden behandeld in de geregistreerde Belgische norm EN 61558-2-1 (1998): "Veiligheid van energietransformatoren, voedingseenheden en dergelijke - Deel 2-1: Bijzondere bepalingen voor scheidingstransformatoren voor algemeen gebruik"</i></p>		
	<p>(16) <i>De beschermingstransformatoren worden behandeld in de geregistreerde Belgische norm EN 61558-2-4 (1998): "Veiligheid van energietransformatoren, voedingseenheden en dergelijke - Deel 2-4: Bijzondere bepalingen voor beschermingstransformatoren voor algemeen gebruik"</i></p>		
	<p>(17) <i>De veiligheidstransformatoren worden behandeld in de geregistreerde Belgische norm EN 61558-2-6 (1998): "Veiligheid van energietransformatoren, voedingseenheden en dergelijke - Deel 2-6: Bijzondere bepalingen voor veiligheidstransformatoren voor algemeen gebruik"</i></p>		
	<p>(18) Gewijzigd door K.B van 25-04-2004; B.S. van 26-05-2004.</p>		


<b>Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties</b>		<b>A.R.E.I.</b>	Pagina : 2.1/29.1
2	Hoofdstuk II - Beschermingsmaatregelen		Datum : 2004-06-30
1	Deel I - Bescherming tegen elektrische schokken		<b>AIB-Vinçotte</b>
	A. - Algemeen		Document: 29.1A
	Beschermingsgraden gegeven door omhulsels en hindernissen		Vervangt : 29.1
			Artikel : 29
			
(1)	ART. 29 - BESCHERMINGSGRADEN GEGEVEN DOOR OMHULSELS EN HINDERNISSEN		
	01. <u>Omhulsels</u>		
(2)	De beschermingsgraad inzake de door omhulsels verwezenlijkte bescherming tegen het binnendringen van vreemde vaste voorwerpen en vloeistoffen alsmede tegen de directe aanraking met actieve delen gelegen binnen de omhulsels wordt bepaald door een code beantwoordend aan de door de Koning gehomologeerde norm of aan bepalingen die ten minste een gelijkwaardig niveau bieden.		
(3)	Deze code is samengesteld uit twee getallen waarvan het eerste de beschermingsgraad tegen de aanraking van actieve delen binnen het omhulsel of achter de hindernis en tegelijk de beschermingsgraad tegen het binnendringen van vreemde vaste voorwerpen voorstelt en het tweede de beschermingsgraad tegen binnendringen van vloeistoffen voorstelt.		
	Wanneer één dezer getallen niet is bepaald, wordt het vervangen door de letter X.		
(3)	De bescherming tegen de directe aanraking met actieve delen, binnen het omhulsel of achter de hindernis, wordt bepaald door een letter die van de getallen is gescheiden door een streepje. De bijkomende letters worden slechts gebruikt indien de werkelijke bescherming tegen directe aanraking hoger is dan deze aangegeven door het eerste kenmerkend getal of indien enkel de bescherming tegen aanraking van actieve delen is vermeld.		
(4)	De letters A, B, C en D hebben betrekking op de verhinderende van de aanraking met de actieve delen door een kaliber met een doormeter van respectievelijk 50, 12, 2,5 en 1 mm.		
	02. <u>Hindernissen</u>		
	De beschermingsgraad inzake de door hindernissen verwezenlijkte bescherming tegen het binnendringen van vreemde vaste voorwerpen en vloeistoffen, alsmede de bescherming tegen de directe aanraking van actieve delen achter de hindernissen wordt op een analoge wijze bepaald.		



<b>Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties</b>		<b>A.R.E.I.</b>	Pagina : 2.1/29.2																																				
2	Hoofdstuk II - Beschermingsmaatregelen		Datum : 2004-06-30																																				
1	Deel I - Bescherming tegen elektrische schokken		<b>AIB-Vinçotte</b>																																				
	A. - Algemeen		Document: 29.2A																																				
	Beschermingsgraden gegeven door omhulsels en hindernissen		Vervangt : 29.2																																				
			Artikel : 29																																				
 <p>Toelichting AV bij artikel 29</p>		<p>(1) Artikel gewijzigd door K.B van 2000-05-07.</p> <p>(2) Het betreft de volgende Belgische normen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- NBN C20-529 "Beschermingsgraden gegeven door omhulsels" (IP-code), identiek aan de Europese norm EN 60529 en aan de IEC 529</li> <li>- NBN EN 50102 "Schokweerstand"</li> </ul> <p>(3) Gewijzigd door K.B van 05-03-2004; B.S. van 22-03-2004.</p> <p>(4) <u>Betekenis der kencijfers en letters voor de beschermingsgraden:</u> <b>A - Beschermingsgraden volgens NBN C20-529. (EN 60529)</b></p> <p><b>Beschrijving van de lettercode</b></p> <table style="margin-left: 40px;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">IP</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">H</td> </tr> <tr> <td>Letters van de code</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>1ste getal (van 0 t/m 6 of X</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>2de getal (van 0 t/m 8 of X</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Bijkomende letters (A, B, C of D)</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Supplementaire letters in optie (H,M,S of W)</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </table>			IP	3	4	C	H	Letters van de code	_____	_____	_____	_____	_____	1ste getal (van 0 t/m 6 of X	_____	_____	_____	_____	_____	2de getal (van 0 t/m 8 of X	_____	_____	_____	_____	_____	Bijkomende letters (A, B, C of D)	_____	_____	_____	_____	_____	Supplementaire letters in optie (H,M,S of W)	_____	_____	_____	_____	_____
	IP	3	4	C	H																																		
Letters van de code	_____	_____	_____	_____	_____																																		
1ste getal (van 0 t/m 6 of X	_____	_____	_____	_____	_____																																		
2de getal (van 0 t/m 8 of X	_____	_____	_____	_____	_____																																		
Bijkomende letters (A, B, C of D)	_____	_____	_____	_____	_____																																		
Supplementaire letters in optie (H,M,S of W)	_____	_____	_____	_____	_____																																		
<b>Elementen van IP en hun betekenis</b>																																							
Element	Cijfers of letters	Betekenis van de bescherming van het materieel	Betekenis van de bescherming van personen																																				
1ste cijfer	0 1 2 3 4 5 6	tegen binnendringen van vreemde vaste lichamen  geen bescherming diameter $\geq$ 50 mm. diameter $\geq$ 12,5 mm. diameter $\geq$ 2,5 mm. diameter $\geq$ 1 mm. bescherm tegen stof stofdicht	Tegen toegang tot gevaarlijke delen  geen bescherming handrug vinger werktuig draad draad draad																																				
2de cijfer	0 1 2 3 4 5 6 7 8	tegen binnendringing van water met schadelijk effect geen bescherming vertikale waterdruppels water onder 15° regen waterstralen waterstralen via lans waterstralen onder druk via lans tijdelijke onderdompeling lange onderdompeling	-  -																																				
additionele letter	A B C D	-	Bescherming tegen toegang tot gevaarlijke delen met handrug vinger werktuig draad																																				
supplementaire letter	H M S W	specifieke informatie  HS materiaal beweging gedurende waterproef stationair tijdens waterproef wisselvallig																																					

<b>Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties</b>		<b>A.R.E.I.</b>	Pagina : 2.1/30.1
2 Hoofdstuk II - Beschermingsmaatregelen			Datum : 2004-06-30
1 Deel I - Bescherming tegen elektrische schokken			<b>AIB-Vinçotte</b>
A. - Algemeen			Document: 30.1A
Isolatie en indeling v.h. elektrisch materieel voor LS en ZLS			Vervangt : 30.1
			Artikel : 30
	<b>ART. 30 - ISOLATIE EN INDELING VAN HET ELEKTRISCH MATERIEEL VOOR LAGE EN ZEER LAGE SPANNING IN VERBAND MET DE BESCHERMING TEGEN ELEKTRISCHE SCHOKKEN</b>		
	(1) (2) (7)	<b>01. <u>Isolatie</u></b>  Door isolatie wordt verstaan het geheel der isoleringen (vaste, vloeibare, gasvormige) die bij het vervaardigen van elektrisch materieel of een elektrische installatie gebruikt worden om de actieve delen te isoleren. De isolatie moet gedurende een minuut weerstaan aan een proefspanning op industriële frequentie waarvan de waarde wordt bepaald: <ul style="list-style-type: none"> <li>- hetzij in de desbetreffende normen gehomologeerd door de Koning of geregistreerd door het B.I.N.;</li> <li>- hetzij door Besluiten van de Ministers die respectievelijk Energie of Arbeidsveiligheid onder hun bevoegdheid hebben en dit ieder voor wat hem betreft;</li> <li>- hetzij op uitdrukkelijke wijze in het raam van dit Reglement.</li> </ul>	
	(7) (3)	<b>02. <u>Basisisolatie</u></b>  De basisisolatie is een isolatie die noodzakelijk is voor een normale werking van elektrisch materieel en elektrische installaties en die de fundamentele bescherming tegen elektrische schokken verzekert.	
	<b>03. <u>Dubbele isolatie</u></b>  De dubbele isolatie is een isolatie waarin buiten de basisisolatie een onafhankelijke bijkomende isolatie wordt voorzien. De dubbele isolatie wordt gecontroleerd door typeproeven; zij moet gedurende een minuut een proefspanning doorstaan op industriële frequentie waarvan de waarde wordt bepaald: <ul style="list-style-type: none"> <li>- hetzij in de desbetreffende normen, gehomologeerd door de Koning of geregistreerd door het B.I.N.;</li> <li>- hetzij bij Besluiten van de Ministers die respectievelijk Energie en Arbeidsveiligheid onder hun bevoegdheid hebben en dit ieder voor wat hem betreft;</li> <li>- hetzij op uitdrukkelijke wijze in het raam van dit Reglement.</li> </ul> Het elektrisch materieel met dubbele isolatie moet het symbool  dragen, van buiten zichtbaar.		





Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties		A.R.E.I.	Pagina : 2.1/30.2
2	Hoofdstuk II - Beschermingsmaatregelen		Datum : 2002-10-31
1	Deel I - Bescherming tegen elektrische schokken		<b>AIB-Vinçotte</b>
	A. - Algemeen		Document: 30.2
	Isolatie en indeling v.h. elektrisch materieel voor LS en ZLS		Vervangt : Artikel : 30
		<p>04. <u>Totale isolatie</u></p> <p>Totale isolatie wordt toegepast bij in de fabriek vervaardigde schakel- en verdeelinrichtingen. Zij wordt uitgevoerd overeenkomstig de voorschriften van de desbetreffende door de Koning gehomologeerde norm, en inzonderheid:</p> <p>a. het elektrisch materieel moet volledig met een isolerend materiaal omhuld zijn. Het omhulsel moet het symbool  dragen, van buiten zichtbaar;</p> <p>b. de in de fabriek vervaardigde schakel- en verdeelinrichtingen moeten inwendig op een zichtbare wijze het symbool  dragen.</p> <p>05. <u>Bijkomende isolatie</u></p> <p>De bijkomende isolatie is een isolatie die bij het installeren wordt aangebracht over de basisisolatie van elektrisch materieel teneinde voor dit materieel een veiligheid te bekomen die gelijkwaardig is met deze van de dubbele isolatie. Zij moet aan volgende voorwaarden voldoen:</p> <p>(4) a. bij bedrijfsklaar elektrisch materieel bevinden de tussenstukken zich in een isolerend omhulsel dat ten minste een beschermingsgraad IPXX-B biedt;</p> <p>b. het isolerend omhulsel kan weerstaan aan de te verwachten mechanische, elektrische, scheikundige en thermische invloeden;</p> <p>c. deklagen van verf, vernis en gelijkaardige stoffen voldoen meestal niet aan deze voorschriften met uitzondering van de omhulsels die de type-proeven hebben ondergaan en die bedekt zijn met een dergelijke laag indien hun gebruik toegelaten is door de desbetreffende regels en de isolerende bedekkingen beproefd zijn volgens de overeenkomstige beproevingsvoorwaarden;</p> <p>d. het isolerend omhulsel mag niet doorboord worden door metalen delen die een potentiaal zouden kunnen overbrengen. Het omhulsel mag geen schroeven uit isolerend materiaal bevatten waarvan de vervanging door een metalen schroef de isolatie die het omhulsel biedt in gevaar brengt. Wanneer mechanische verbindingen door het omhulsel gaan (b.v. bedieningsorganen van ingesloten toestellen) moeten deze zo geschikt worden dat de bescherming tegen elektrische schokken niet in het gedrang komt;</p> <p>(4) e. indien deuren of deksels zonder sleutel of gereedschap kunnen geopend worden moeten alle geleidende delen die genaakbaar worden als de deur of het deksel open is, zich achter een isolerende hindernis bevinden die ten minste een beschermingsgraad IPXX-B heeft om te beletten dat personen in aanraking komen met dergelijke delen. Deze isolerende hindernis mag slechts kunnen weggenomen worden met behulp van een sleutel of gereedschap;</p> <p>f. het symbool  moet op een zichtbare wijze aangebracht zijn op de buitenwand van het omhulsel.</p>	


<b>Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties</b>		<b>A.R.E.I.</b>	Pagina : 2.1/30.3
2 Hoofdstuk II - Beschermingsmaatregelen			Datum : 2002-10-31
1 Deel I - Bescherming tegen elektrische schokken			<b>AIB-Vinçotte</b>
A. - Algemeen			Document: 30.3
Isolatie en indeling v.h. elektrisch materieel voor LS en ZLS			Vervangt :
			Artikel : 30
 <p>Huishoudelijk, industrieel en verdeling van energie</p>	06. <u>Versterkte isolatie</u>	<p>De versterkte isolatie bestaat uit een bedekking van actieve delen met een enkelvoudige isolatie die zodanige mechanische en elektrische eigenschappen heeft dat ze een bescherming tegen elektrische schokken verzekert die gelijkwaardig is met deze van een dubbele isolatie. Ze is slechts toegelaten als het om constructieve redenen onmogelijk is een dubbele isolatie aan te brengen. Ze moet voldoen aan de voorwaarden van punt 05.b tot f van dit artikel.</p>	
	(5) 07. <u>Klassen van elektrisch materieel</u>	<p>In verband met de bescherming tegen elektrische schokken wordt het elektrisch materieel voor lage en zeer lage spanning ingedeeld volgens drie criteria:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>de isolatie tussen actieve en genaakbare delen;</li> <li>de al dan niet bestaande mogelijkheid om genaakbare, geleidende delen te verbinden met een beschermingsgeleider;</li> <li>de toelaatbare spanningen.</li> </ol> <p>Het elektrisch materieel wordt in volgende klassen ingedeeld:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><b>klasse 0:</b> Elektrisch materieel waarbij de bescherming tegen elektrische schokken enkel berust op de basisisolatie; dat wil zeggen dat niets voorzien is om eventueel genaakbare geleidende delen te verbinden met een beschermingsgeleider. Elektrisch materieel van de klasse 0 heeft hetzij een omhulsel uit isolerend materiaal dat een deel of het geheel van de basisisolatie uitmaakt, hetzij een metalen omhulsel dat van de actieve delen door een gepaste isolatie gescheiden is. Indien elektrisch materieel, met een omhulsel uit isolerend materiaal, middelen bevat om inwendige delen te verbinden met een beschermingsgeleider moet het beschouwd worden als zijnde van de klasse I of 0I.</li> <li><b>klasse 0I:</b> Elektrisch materieel met ten minste een basisisolatie voor al zijn delen en met een beschermingsklem (of massaklem), maar uitgerust met een voedingskabel zonder beschermingsgeleider.</li> <li><b>klasse I:</b> Elektrisch materieel waarbij de bescherming tegen elektrische schokken niet uitsluitend berust bij de basisisolatie, maar waarbij de genaakbare geleidende delen verbonden moeten worden met een beschermingsgeleider zodat deze delen niet gevaarlijk kunnen worden door het in gebreke blijven van de basisisolatie. Bij elektrisch materieel gevoed via een snoer, moet dit snoer een beschermingsgeleider omvatten.</li> </ol>	



<b>Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties</b>		<b>A.R.E.I.</b>	Pagina : 2.1/30.4
2	Hoofdstuk II - Beschermingsmaatregelen		Datum : 2004-06-30
1	Deel I - Bescherming tegen elektrische schokken		<b>AIB-Vinçotte</b>
	A. - Algemeen		Document: 30.4A
			Vervangt : 30.4
			Artikel : 30
Isolatie en indeling v.h. elektrisch materieel voor LS en ZLS			
		<p><b>d. klasse II:</b> Elektrisch materieel waarbij de bescherming tegen elektrische schokken berust op:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- hetzij de dubbele isolatie;</li> <li>- hetzij de versterkte isolatie.</li> </ul> <p>Het elektrisch materieel van de klasse II moet het symbool  dragen, van buiten zichtbaar.</p> <p>Deze maatregelen bevatten geen mogelijkheid tot aansluiting van een beschermingsaarding en hangen niet af van de wijze van installeren. Dergelijk materieel kan van één van de volgende types zijn:</p> <p>d.1. klasse II met omhullende isolatie waarbij een duurzaam en nagenoeg continu omhulsel van isolerend materiaal alle metalen delen omsluit, behalve kleine delen zoals kenplaten, schroeven en klinknagels die van de actieve delen zijn gescheiden door een isolatie, ten minste gelijkwaardig met de versterkte isolatie;</p> <p>d.2. klasse II met metalen omhulsel waarbij het nagenoeg continu metalen omhulsel de actieve delen omsluit en waarbij overal hetzij dubbele isolatie wordt aangebracht, hetzij een versterkte isolatie omdat een dubbele isolatie absoluut niet te verwezenlijken is;</p> <p>d.3. klasse II die een samenstelling is van elektrisch materieel met omhullende isolatie en met metalen omhulsel Indien elektrisch materieel in al zijn delen voorzien is van een dubbele isolatie en/of een versterkte isolatie, maar een uitwendige beschermingsklem bezit, wordt het aanzien als zijnde van de klasse I of 0I;</p> <p><b>e. klasse III:</b> Elektrisch materieel waarbij de bescherming tegen elektrische schokken bekomen wordt door voeding op zeer lage veiligheidsspanning en waarin geen spanningen, andere dan de zeer lage veiligheidsspanning voorkomen.</p> <p>08. <u>Elektrisch materieel met een veiligheid gelijkwaardig met deze van toestellen van de klasse II</u></p> <p>Elektrisch materieel met een veiligheid gelijkwaardig met deze van toestellen van de klasse II is materieel dat bij zijn toepassingen beschouwd mag worden als zijnde van de klasse II alhoewel het niet volledig beantwoordt aan de bepaling van de klasse II. Vermits deze toestellen onderworpen worden aan zeer strenge proeven waardoor verzekerd wordt dat de mogelijkheid van het onder spanning komen van genaakbare delen klein is, worden ze beschouwd als toestellen met een veiligheid gelijkwaardig met deze van materieel van de klasse II.</p> <p>(7) De Ministers die respectievelijk Energie en Arbeidsveiligheid onder hun bevoegdheid hebben en dit ieder voor wat hem betreft, leggen bij besluit de voorwaarden vast waaraan elektrisch materieel moet voldoen om beschouwd te worden als elektrisch materieel met een veiligheid gelijkwaardig met deze van toestellen van de klasse II.</p> <p>(6)</p>	




<b>Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties</b>		<b>A.R.E.I.</b>	Pagina : 2.1/30.5
2	Hoofdstuk II - Beschermingsmaatregelen		Datum : 2002-10-31
1	Deel I - Bescherming tegen elektrische schokken		<b>AIB-Vinçotte</b>
	A. - Algemeen		Document: 30.5
			Vervangt :
	Isolatie en indeling v.h. elektrisch materieel voor LS en ZLS		Artikel : 30
 <p>Toelichting AV bij artikel 30</p>		<p>(1) <i>Tot op heden zijn nog geen besluiten van deze aard verschenen.</i></p> <p>(2) <i>AV is uitgerust voor het uitvoeren van diëlektrische beproevingen tot 70 kV gelijkstroom en 50 kV wisselstroom.</i></p> <p>(3) <i>Het M.B. van 1981-07-06 (B.S. van 1981 -08-12) handelt over sommige leidingen met dubbele isolatie (zie ook artikel 86.10). Het bevat enkele speciale definities (art. 1) en voorschriften i.v.m. elektrische leidingen en kabels van de klasse II. De voorschriften hebben meer bepaald betrekking op:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>de samenstelling van een elektrische kabel van klasse II (art. 2);</i></li> <li>- <i>proefspanningen op kabels van klasse II (art. 4).</i></li> </ul> <p><i>Artikel 5 stelt dat in wanden ingebouwde of bekledingsverzonken CRVB-geleiders in plastieken leidingen en VVB-kabels te beschouwen zijn als gelijkwaardig aan klasse II-geleiders.</i></p> <p><i>Het M.B. bevat tenslotte ook een definitie over lage spanning van de eerste en van de tweede categorie (art. 3).</i></p> <p>(4) <i>Wijziging door het K.B. van 2000-05-07.</i></p> <p>(5) <i>Enkele voorbeelden van materieel van de verschillende klassen:</i></p> <p><b>Klasse 0</b> <i>Metalen luchter op 230 V zonder mogelijkheid van aardverbinding; dit is verboden door de norm NBN C 71-598 – deel I; metalen kast zonder aardingsklem.</i></p> <p><b>Klasse I</b> <i>Koelkast, wasmachine, vaatwasmachine; Elektrische motor.</i></p> <p><b>Klasse II</b> <i>Haardroger; Koffiemolen voor huishoudelijk gebruik; de meeste boormachines.</i></p> <p><b>Klasse III</b> <i>Zaklantaarn met batterij.</i></p> <p><i>In huishoudelijke en gelijkgestelde installaties zijn de toestellen van klasse 0 en 0I verboden volgens artikel 86.04. In de situatie BB1-BC1 is het echter toegelaten vaste verlichtingsapparaten met lamphouders die geen bescherming van ten minste IPXX-B bevatten niet te aarden.</i></p> <p><i>In industriële installaties laat artikel 234 in sommige gevallen, bij een gering elektrocutiegevaar, het gebruik van toestellen van klasse 0 en 0I toe.</i></p> <p><i>In de praktijk dient men toestellen van klasse 0 en 0I te vermijden, ook in de industrie.</i></p>	



<b>Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties</b> <b>A.R.E.I.</b> 2    Hoofdstuk II - Beschermingsmaatregelen 1    Deel I - Bescherming tegen elektrische schokken A. - Algemeen  Isolatie en indeling v.h. elektrisch materieel voor LS en ZLS	Pagina    : 2.1/30.6 Datum     : 2004-06-30  <b>AIB-Vinçotte</b> Document: 30.6A Vervangt : 30.6 Artikel    : 30
 <p>Toelichting AV bij artikel 30</p>	<p>(6) <i>Zulk besluit werd reeds uitgevaardigd voor elektrische kabels voor zwembaden, geleidende ruimten, enz. ....: M.B. van 1981-07-06 (B.S. van 1981-08-12, gewijzigd door M.B. van 1986-09-16</i></p> <p>(7) <i>Gewijzigd door K.B van 25-04-2004; B.S. van 26-05-2004.</i></p>

<b>Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties A.R.E.I.</b>		Pagina : 5/261.1
5 Hoofdstuk V - Algemene voorschriften door personen na te leven		Datum : 2004-06-30
		<b>AIB-Vinçotte</b>
		Document: 261.1
		Vervangt :
Waarschuwborden tegen de gevaren van elektrische installaties		Artikel : 261
 <p>Huishoudelijk, industrieel en verdeling van energie, oude (O) en nieuwe (N) installaties</p>	<p><b>HOOFDSTUK V</b></p> <p><b>ALGEMENE VOORSCHRIFTEN DOOR PERSONEN NA TE LEVEN</b></p> <p>(1) ART. 261 - WAARSCHUWINGSBORDEN TEGEN DE GEVAREN VAN ELEKTRISCHE INSTALLATIES</p> <p>Eén of meer waarschuwborden moeten aanduiden:</p> <p>(2) - de niet-gesloten ruimten van de elektrische dienst;</p> <p>(3) - de gesloten ruimten van de elektrische dienst;</p> <p>- de elektrische installaties, machines, toestellen en leidingen op laagspanning die, buiten beide voormelde gevallen, niet beschermd zijn tegen rechtstreekse aanraking;</p> <p>- de schakelborden, kasten, machines, toestellen en leidingen op hoogspanning die zich in gewone ruimten bevinden.</p> <p>Een dergelijk waarschuwbord is echter niet verplicht voor de elektrische boven- en ondergrondse lijnen en hun toebehoren.</p> <p>De waarschuwborden moeten de vorm hebben van een op één zijde geplaatste gelijkzijdige driehoek. Zij zijn afgeboord met een zwarte band en dragen in het midden een zwart bliksemteken op een gele achtergrond conform de door de Koning gehomologeerde of door het B.I.N. geregistreerde normen.</p>	

<b>Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties A.R.E.I.</b>		Pagina : 5/261.2 Datum : 2004-06-30
5 Hoofdstuk V - Algemene voorschriften door personen na te leven		<b>AIB-Vinçotte</b> Document: 261.2 Vervangt : Artikel : 261
Waarschuwborden tegen de gevaren van elektrische installaties		
 Toelichting AV bij artikel 261	<p>(1) <i>Waarschuwpictogram</i></p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>(2) <i>T.t.z. de gewone ruimten van de elektrische dienst (artikel 50).</i></p> <p>(3) <i>T.t.z. de exclusieve ruimten van de elektrische dienst (artikel 51).</i></p>	

Toelichting

<b>Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties A.R.E.I.</b>		Pagina : 5/262.1
5 Hoofdstuk V - Algemene voorschriften door personen na te leven		Datum : 2004-06-30
		<b>AIB-Vinçotte</b>
		Document: 262.1
		Vervangt :
		Artikel : 262
Verbodsborden		
 <p>Huishoudelijk, industrieel en verdeling van energie, oude (O) en nieuwe (N) installaties</p>	<p>(1) ART. 262 - VERBODSBORDEN</p> <p>Een verbodsbord moet aangebracht op zekere toestellen, machines en leidingen waarvan de aanraking of de benadering gevaarlijk kan zijn of op de deuren die toegang verstrekken tot zulk materieel, zelfs indien een dergelijk gevaar niet onmiddellijk blijkt (b.v. condensatoren die geladen blijven na de uitschakeling van het net, op afstand bediende installaties, enz....)</p> <p>De verbodsborden moeten rond zijn en bevatten op de boord en in diagonaal een rode band en in het midden op witte achtergrond het zwarte symbool bestaande uit een lijnstuk, dat een deel van spanning voorstelt, een bliksemteken en het schaduwbeeld van een mens, conform de desbetreffende door de Koning gehomologeerde of door het B.I.N. geregistreerde normen.</p>	

<p><b>Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties A.R.E.I.</b></p>		<p>Pagina : 5/262.2</p>
<p>5 Hoofdstuk V - Algemene voorschriften door personen na te leven</p>		<p>Datum : 2004-06-30</p>
		<p><b>AIB-Vinçotte</b></p>
		<p>Document: 262.2</p>
		<p>Vervangt :</p>
		<p>Artikel : 262</p>
<p>Verbodsborden</p>		
 <p>Toelichting AV bij artikel 262</p> <p style="font-size: 48px; font-weight: bold; text-align: center;">Toelichting</p>	<p>(1) <i>Verbodspictogram</i></p> <div style="text-align: center;">  </div>	

Bijlage 5 Elektrisch schema op A3 formaat



## Questionnaires comfort study volunteers

Personal details of the volunteer, specified by himself/herself

Date	_____	
Name	_____	Gender: M / F
Age	_____	
Length	_____	
Weight	_____	
Do you use medication? If yes, please specify what for: _____		
_____		
Clothing	_____	
_____		

## Judgement scales

### 1. Thermal sensation (“How are you feeling now?”)

3	hot
2	warm
1	slightly warm
0	neutral
-1	slightly cool
-2	cool
-3	cold
-4	very cold

### 2. Thermal confort (“Do you find this ...?”)

0	comfortable
1	slightly uncomfortable
2	uncomfortable
3	very uncomfortable
4	extremly uncomfortable

### 3. Perception of air movements. The testperson ...

0	Doesn't feel the presence of any air movement	(not at all)
1	Feels a weak air movement, but not constantly	(very slightly)
2	Continuously feels a weak air movement	(slightly)
3	Continuously feel an air movement with moderate intensity	(definitely)
4	Continuously feels an intense air movement	(a lot)

## 1. Thermal sensation (“How are you feeling now?”)

	Time (minutes since entering the climate room)						
	Pre	0	15	25	45	55	70
General							
Head							
Upper body							
Bottom							
Arms							
Hands							
Fingers							
Legs							
Toes							

## 2. Thermal comfort (“Do you find this ...?”)

	Pre	0	15	25	45	55	70
General							
Head							
Hands							
Fingers							
Legs							
Toes							

## 3. Perception of air movements.

	Pre	0	15	25	45	55	70
General							
Head							
Left side of the body							
Right side of the body							

## 4. Thermal preference scale

	Pre	0	15	25	45	55	70
Much warmer							
Warmer							
Slightly warmer							
Neither warmer nor cooler							
Legs							
Toes							

Scan penrecorder

Overbelastingsbeveiliging

Omgeving en manier van monteren

De overbelastingsbeveiliging is gewaarborgd als aan de volgende voorwaarden is voldaan :

$I_z \geq \frac{K \times I_{beveiliging}}{f}$	De beveiligingsstroom $I_{beveiliging}$ hangt af van de installatie:					
	nettype	monofasig	driefasig zonder nulleder	driefasig + nulleder		
harmonische vervorming	weinig belangrijk	weinig belangrijk	TH3 ≤ 33%	TH3 > 33%		
eén- of meeraderige kabel	weinig belangrijk	weinig belangrijk	weinig belangrijk	éénaderige kabel Sfase < 1 berekening voor de fase	Shulleider < 1 berekening voor de nulleder	meeraderige kabel Sfase = Shulleider
$I_b \leq I_{th} \leq I_z$	Automaat met instelbare thermische waarde			Automaat met vaste nominale waarde of zekering		
$I_b \leq I_n \leq I_z$	$I_{beveiliging} = I_{th}$ , ingestelde thermische waarde			$I_{beveiliging} = I_n$ , nominale waarde van de beveiliging		$I_{beveiliging} = I_{bnulleder}$ , belastingsstroom van de nulleder

$I_z$  : toelaatbare stroom in de te beveiligen geleider (tabel S13A en S13B pagina T16.14)

$I_b$  : bedrijfsstroom van de kring (geïnstalleerd vermogen)

$K$  : coëfficiënt bepaald door het type en de grootte van de beveiligingsinrichting (tabel S1 hieronder)

$f$  : installatiecoëfficiënt

Deze coëfficiënt beantwoordt aan de installatie- en omgevingsomstandigheden waaraan de te berekenen kring is blootgesteld. Elke omstandigheid, in zoverre van toepassing, bepaalt een coëfficiënt ( $f_1$  tot  $f_{12}$ ).

coëfficiënt  $f_3$  : omgevingstemperatuur als de omgevingstemperatuur verschilt van 30 °C

$f_3$  zie tabel S3



coëfficiënt niet van toepassing voor ondergrondse kabels

Tabel S1

grootte $I_n$	automaat	zekering gG
$I_n < 16 A$	1	1,31
$I_n \geq 16 A$	1	1,1

coëfficiënt  $f_1$  : nettype

als het net eenzijdig belast is  $f_1$  0,84

Of indien de harmonische vervorming van rang 3 en zijn veelvouden groter is dan 15%

coëfficiënt  $f_2$  : ontploffingsgevaar

bij ontploffingsgevaar  $f_2$  0,85



Tabel S3

temperatuur in °C	Isolatie van de geleider		
	elastomeer (rubber) A of HO5R... A of HO7R...	polyvinylchloride (PVC) A of HO5V... A of HO7V...	gereticuleerde polytheen (PR) butyl, ethyleen, propyleen (EPR) U 1000R...
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,06	1,04
35	0,93	0,94	0,95
40	0,82	0,87	0,81
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55		0,61	0,76
60		0,5	0,71
65			0,65
70			0,58
75			0,50
80			0,41

voorbeeld van pagina T16.15

Tabel S2

Inst.	automaattype																
	h125h/ h125n		h160xs			h250			h250 (elekt.)		h400xs (TM)		h400xs (elekt.)		h630xs (TM)		h630xs (elekt.)
	Nominale stroom $I_n$																
(dIn)	25	40	63	100	125	160	160	200	250	250	320	400	400	500	630	630	
0,4										100			160			252	
0,5										125			200			315	
0,6										150			240			378	
0,7										175			280			441	
0,8	20	32	50	80	100	125	125	160	200	200	256	320	320	400	504	504	
0,9										225			360			567	
1	25	40	63	100	125	160	160	200	250	250	320	400	400	500	630	630	

coëfficiënt f4 : installatiemethode


f4  zie tabel S4

Op onderstaande tabel S4 vindt u afhankelijk van de installatiemethode en van het kabel- of geleidertype, de volgende elementen :

- nummer van de installatiemethode (1 tot 74) voor coëfficiënt f
- referentiemethode (B tot F) voor de toelaatbare stroomsterkten en de doorsneden van tabel S13A en S13B
- coëfficiënt f4 in zoverre deze aangegeven is

Tabel S4

N°	omschrijving	referentie- methode	f4	N°	omschrijving	referentie- methode	f4
1	leidingen ingebouwd in themische isolatiewanden met - geïsoleerde geleiders	B	0,77	25	een- of meeraderige kabels in : - vertaagde plafonds - hangende plafonds	B	0,95
2	- meeraderige kabels	B	0,70				
3	leidingen die zichtbaar gemonteerd zijn met : - geïsoleerde geleiders	B	-	31	kabelgoten bevestigd op wanden in horizontale lijn met : - eenaderige kabels of geïsoleerde geleiders	B	-
3A	- een- of meeraderige kabels	B	0,90	31A	- meeraderige kabels	B	0,90
4	geprofileerde leidingen die zichtbaar gemonteerd zijn met : - geïsoleerde geleiders	B	-	32	kabelgoten bevestigd op wanden in verticale lijn met : - eenaderige kabels of geïsoleerde geleiders	B	-
4A	- een- of meeraderige kabels	B	0,90	32A	- meeraderige kabels	B	0,90
5	leidingen ingebouwd in wanden met : - geïsoleerde geleiders	B	-	33	kabelgoten ingebouwd in de vloer met : - geïsoleerde geleiders	B	-
5A	- een- of meeraderige kabels	B	0,90	33A	- een- of meeraderige kabels	B	0,90
11	een- of meeraderige kabels met of zonder bewapening - bevestigd op muur	C	-	34	opgehangen kabelgoten met : - geïsoleerde geleiders	B	-
11A	- bevestigd op plafond	C	0,95	34A	- een- of meeraderige kabels	B	0,90
12	- op kabelbanen of niet geperforeerde tabletten	C	-	41	geleiders geïsoleerd in leidingen of meeraderige kabels in gesloten kabelbanen, in horizontale of verticale lijn	B	0,95
13	- op kabelbanen of geperforeerde tabletten, in horizontale of verticale lijn	meer aderige kabel E	één aderige kabel F	42	een- of meeraderige kabels in geventileerde kabelbanen	B	-
14	- op kraagstenen of bouwstaalnet	E	F	43	een- of meeraderige kabels in open of geventileerde kabelkanalen	B	-
16	- op kabeladders	E	F	61	een- of meeraderige kabels in leidingen of ondergrondse geprofileerde leidingen	D	0,80
17	een- of meeraderige kabels opgehangen aan een draagkabel of een zelfdragende kabel	E	F	62	een- of meeraderige ondergrondse kabels, zonder bijkomende mechanische bescherming	D	-
18	niet-geïsoleerde of geïsoleerde geleiders op isolator	C	1,21	63	een- of meeraderige ondergrondse kabels, met bijkomende mechanische bescherming	D	-
21	een- of meeraderige kabels in holle constructieruimten	B	0,95	71	geïsoleerde geleiders in lijsten	B	-
22	leidingen in holle constructieruimten met : - geïsoleerde geleiders	B	0,95	73	geïsoleerde geleiders in kozijnen	B	-
22A	- een- of meeraderige kabels	B	0,865	73A	meeraderige kabels in kozijnen	B	0,90
23	geprofileerde leidingen in holle constructieruimten met : - geïsoleerde geleiders	B	0,95	74	geïsoleerde geleiders in vensterlijsten	B	-
23A	- een- of meeraderige kabels	B	0,865	74A	meeraderige kabels in vensterlijsten	B	0,90
24	geprofileerde leidingen verzonken in de constructie met : - geïsoleerde geleiders	B	0,95	81	Kabel ondergedompeld in water	In studie	
24A	- een- of meeraderige kabels	B	0,865				

 waarden voor het voorbeeld op pagina T16.14



Overbelastingsbeveiliging

coëfficiënt f5 : plaatsing onder leidingen en aaneensluitende leidingen in functie van het aantal leidingen ofwel:  
 - geplaatst in open lucht (tabel S5A)  
 - ofwel gebetonneerd (tabel S5B)

bij plaatsing onder leidingen en aaneensluitende leidingen



f5 → tabel S5A en S5B

Tabel S5A

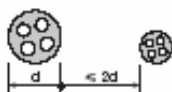
Installatienummer (tab. S4)	N° 1 - 2 - 3 - 3A - 4 - 4A - 21 - 22 - 22A - 23 - 23A - 41 - 42 - 43					
	aantal horizontaal geplaatste leidingen					
aantal verticaal geplaatste leidingen	1	2	3	4	5	6
1	1	0,94	0,91	0,88	0,87	0,86
2	0,92	0,87	0,84	0,81	0,80	0,79
3	0,85	0,81	0,78	0,76	0,75	0,74
4	0,82	0,78	0,74	0,73	0,72	0,72
5	0,80	0,76	0,72	0,71	0,70	0,70
6	0,79	0,75	0,71	0,70	0,69	0,68

Tabel S5B

Installatienummer (tab. S4)	N° 5 - 5A - 24 - 24A					
	aantal horizontaal geplaatste leidingen					
aantal verticaal geplaatste leidingen	1	2	3	4	5	6
1	1	0,87	0,77	0,72	0,68	0,65
2	0,87	0,71	0,62	0,57	0,53	0,50
3	0,77	0,62	0,53	0,48	0,45	0,42
4	0,72	0,57	0,48	0,44	0,40	0,38
5	0,68	0,53	0,45	0,40	0,37	0,35
6	0,65	0,50	0,42	0,38	0,35	0,32

coëfficiënt f6 (enkel bij niet ondergrondse plaatsing) : groepering van kringen of meeraderige kabels op 1 laag

bij groepering van kringen voor 1 laag



Nota : 1 circuit is een groepering van éénaderige kabels

f6 → tabel S6

Tabel S6

Installatie nummer (tab. S4)	aantal kringen of meeraderige kabels											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
1 tot 5A, 21 tot 43, 71	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40
11, 12	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	geen extra reductiefactor voor meer dan 9 kabels		
11 A	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64			
13	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72			
14, 16, 17	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

coëfficiënt f7 (enkel bij niet ondergrondse plaatsing) : groepering van kringen of meeraderige kabels op verschillende lagen. (bij groepering van de kringen voor verschillende lagen)



f7 → tabel S7

Tabel S7

aantal lagen	Correctiefactor
2	0,80
3	0,73
4 of 5	0,70
6 tot 8	0,68
9 en +	0,66

enkel voor plaatsingswijze nr 11 tot 17 van tabel S6

Waarden voor het voorbeeld op pagina T16.15

coëfficiënt f8 (enkel bij ondergrondse plaatsing) in functie van de bodemtemperatuur

Indien de bodemtemperatuur verschillend is van 20°C

f8 → tabel S8

Tabel S8

Installatie nummer (tab. S4)	temperatuur in °C	polyvinylchloride (PVC) A of H05V ... A of H07V ...	gereticuleerde polytheen (PR) butyl, ethyleen, propyleen (EPR) U 1000R...
61, 62, 63	10	1,10	1,07
	15	1,06	1,04
	25	0,95	0,96
	30	0,89	0,93
	35	0,84	0,89
	40	0,77	0,85
	45	0,71	0,80
	50	0,68	0,76
	55	0,55	0,71
	60	0,45	0,65
	65	-	0,60
	70	-	0,53
75	-	0,46	
80	-	0,38	



**Overbelastingsbeveiliging**

coëfficiënt f9 (enkel bij ondergrondse plaatsing in leidingen) :  
groepering van ondergrondse leidingen horizontaal of verticaal  
geplaatst



bij één enkele kabel per leiding of groepering van drie éénaderige  
kabels per leiding

meeraderige  
kabels



éénaderige  
kabels



coëfficiënt f10 (enkel bij ondergrondse plaatsing in leidingen) :  
groepering van meerdere kringen of kabels in éénzelfde leiding



deze tabel is geldig voor groeperingen van kabels met verschillende  
secties maar met eenzelfde maximale toelaatbare temperatuur.

coëfficiënt f11 (enkel bij plaatsing onmiddellijk in de grond) :  
groepering van ondergrondse kabels horizontaal of verticaal  
geplaatst



meeraderige kabel



éénaderige kabel



coëfficiënt f12 (bij ondergrondse plaatsing) :  
thermische weerstand van de bodem



f de installatiecoëfficiënt f is gelijk aan het  
product van alle betrokken coëfficiënten  
 $f = f1 \times f2 \times f3 \times f4 \times f5 \times f6 \times f7 \times f8 \times f9 \times f10 \times f11 \times f12$

Tabel S9

Installatienummer (tab. S4)	61			
	Afstand (a) tussen de leidingen			
Aantal leidingen	geen (leidingen tegen elkaar)	0,25 m	0,50 m	1,00 m
2	0,87	0,93	0,95	0,97
3	0,77	0,87	0,91	0,95
4	0,72	0,84	0,89	0,94
5	0,68	0,81	0,87	0,93
6	0,65	0,79	0,86	0,93

Tabel S10

Installatienummer (tab. S4)	61										
	Aantal kringen of meeraderige kabels										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
1	0,71	0,58	0,5	0,45	0,41	0,38	0,35	0,33	0,29	0,25	0,22

Tabel S11

Installatienummer (tab. S4)	62, 63				
	Afstand (a) tussen de kabels of tussen groeperingen van 3 éénaderige kabels				
Aantal kabels of circuits	geen (leidingen tegen elkaar)	Diameter van de kabel	0,25 m	0,50 m	1,00 m
2	0,76	0,79	0,94	0,86	0,92
3	0,64	0,67	0,74	0,79	0,85
4	0,57	0,61	0,69	0,75	0,82
5	0,52	0,55	0,65	0,71	0,80
6	0,49	0,53	0,60	0,69	0,78

Tabel S12

Installatienummer (tab. S4)	61, 62, 63			
Thermische weerstand van het terrein (K/mW)	Correctie-factor	observaties		
		Vochtigheid	Aard van het terrein	
0,40	1,25	nat	moeras en zand	
0,50	1,21	zeer vochtig		
0,70	1,13	vochtig	idel en kalk	as
0,85	1,05	normaal		
1,00	1	droog		
1,20	0,94	zeer droog		
1,50	0,86			
2,00	0,76			
2,50	0,70			
3,00	0,65			

Berekening van de secties

Tabel S13A: tabel van de toelaatbare stroomsterkten Iz (A) voor niet ondergrondse plaatsing

Referentiemethode tabel S4	Isolatiemateriaal en aantal belaste geleiders							
	PVC : A/HO7R... - A/HO6R... - A/HO7V... - A/HO6V...				PR : U1000R...			
	2 : een- of tweefasige kring		3 : vier- of driefasige kring					
B	PVC3	PVC2		PR3		PR2		
C		PVC3		PVC2	PR3		PR2	
E			PVC3		PVC2	PR3		PR2
F				PVC3		PVC2	PR3	PR2
	1	2	3	4	5	6	7	8
koper In mm <sup>2</sup>								
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26
2,5	21	24	25	27	30	31	33	36
4	28	32	34	36	40	42	45	49
6	36	41	43	46	51	54	58	63
10	50	57	60	63	70	75	80	86
16	68	76	80	85	94	100	107	115
25	88	96	101	112	119	127	138	149
35	110	119	126	138	147	158	169	185
50	134	144	153	168	179	192	207	225
70	171	184	196	213	229	246	266	289
95	207	223	238	258	278	298	328	352
120	239	259	276	299	322	346	382	410
150		299	319	344	371	395	441	473
185		341	364	392	424	450	506	542
240		403	430	461	500	538	599	641
300		464	497	530	576	621	693	741
400					656	754	825	940
500					749	868	946	1083
630					855	1005	1088	1254
aluminium In mm <sup>2</sup>								
2,5	16,5	18,5		21	23	24	26	28
4	22	25	26	28	31	32	35	38
6	28	32	33	36	39	42	45	49
10	39	44	46	49	54	58	62	67
16	53	59	61	66	73	77	84	91
25	70	78	78	83	90	97	101	109
35	86	90	96	103	112	120	126	135
50	104	110	117	125	136	146	154	164
70	133	140	150	160	174	187	199	211
95	161	170	183	195	211	227	241	257
120	186	197	212	226	245	263	280	300
150		227	245	261	283	304	324	346
185		259	280	298	323	347	371	397
240		305	330	352	382	409	439	470
300		351	381	406	440	471	508	543
400					526	600	663	740
500					610	694	770	856
630					711	808	889	986

Waarden voor het voorbeeld op pagina T16.15

Tabel S13B: tabel van de toelaatbare stroomsterkten Iz (A) voor ondergrondse plaatsing

Referentiemethode tabel S4: D

Sectie van de geleiders (mm <sup>2</sup> )	Isolatiemateriaal en aantal belaste geleiders			
	PVC 3	PVC 2	PR 3	PR 2
koper				
1,5	26	32	31	37
2,5	34	42	41	49
4	44	54	53	63
6	56	67	66	80
10	74	90	87	104
16	96	116	113	136
25	123	148	144	173
35	147	178	174	206
50	174	211	206	247
70	216	261	254	304
95	256	308	301	360
120	290	351	343	410
150	328	397	387	463
185	367	445	434	518
240	424	514	501	596
300	490	581	565	677
aluminium				
10	57	68	67	80
16	74	88	87	104
25	94	114	111	133
35	114	137	134	160
50	134	161	160	188
70	167	200	197	233
95	197	237	234	275
120	224	270	266	314
150	254	304	300	359
185	285	343	337	396
240	328	396	388	456
300	371	447	440	520

Nota : voor soepele kabels: de waarden van de toelaatbare stroomsterkten zoals weergegeven in tabel S13A zijn ook geldig voor soepele kabels gebruikt in vaste installaties.

Bij de keuze van de secties van de geleiders is een tolerantie van 5% op de toelaatbare stroomsterkten toegelaten (art.523.1.2).

Berekening van de sectie van de nulgeleider

Kringen voor kantoren, Informatica, elektronische apparaten,...  
Geïnstalleerd in bureaucomplexen, banken, berekeningcentra, vellinghuizen, gespecialiseerde winkels,...

Verlichtingskringen met ontlastingslampen waaronder fluorescentiebuisen, geïnstalleerd in kantoren, ateliers, warenhuizen

	0 < TH ≤ 15 %	15% < TH ≤ 33%	TH > 33 %
monofase kring	$S_{nul} = S_{fase}$	$S_{nul} = S_{fase}$	$S_{nul} = S_{fase}$
kring 3P+N meeraderige kabel $S_{fase} \leq 16^2$ cu of $25^2$ alu	$S_{nul} = S_{fase}$	$S_{nul} = S_{fase}$ factor 0,84	$S_{nul} = S_{fase}$ $S_{nul}$ bepaald door $I_{nul}$ = 1,45. $I_{fase}$ factor 0,84
kring 3P+N meeraderige kabel $S_{fase} \leq 16^2$ cu of $25^2$ alu	$S_{nul} = S_{fase} \times 2$ toegelaten nulleider beveiligd	$S_{nul} = S_{fase}$ factor 0,84	$S_{nul} = S_{fase}$ $S_{nul}$ bepaald door $I_{nul}$ = 1,45. $I_{fase}$ factor 0,84
kring 3P+N meeraderige kabel $S_{fase} \leq 16^2$ cu of $25^2$ alu	$S_{nul} = S_{fase} \times 2$ toegelaten nulleider beveiligd	$S_{nul} = S_{fase}$ factor 0,84	$S_{nul} > S_{fase}$ door $I_{nul}$ = 1,45. $I_{fase}$ factor 0,84

Wanneer de harmonische vervorming van rang 3 en zijn veelvoud niet gekend is, is het volgende aangeraden:  
- voorzie  $S_{nul} = S_{fase}$  met  $f_1 = 0,84$   
- de nulleider beveiligen  
- geen PEN geleider gebruiken