

2017 • 2018
Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterthesis

Ontwerpen van warmterecuperatiesysteem in de testruimte voor stroomaggregaten tot 600kVA

PROMOTOR :

ir. Geert VANDENSANDE

PROMOTOR :

ing. Yves HEYLANDS

Tom Schouteden

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

De transnationale Universiteit Limburg is een uniek samenwerkingsverband van twee universiteiten in twee landen: de Universiteit Hasselt en Maastricht University.



Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Agoralaan Gebouw D | BE-3590 Diepenbeek
Universiteit Hasselt | Campus Hasselt | Martelarenlaan 42 | BE-3500 Hasselt



2017 • 2018

Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterthesis

Ontwerpen van warmterecuperatiesysteem in de testruimte voor
stroomaggregaten tot 600kVA

PROMOTOR :

ir. Geert VANDENSANDE

PROMOTOR :

ing. Yves HEYLANDS

Tom Schouteden

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica



KU LEUVEN

Woord vooraf

Mijn masterproef bij EUROPOWER Generators was een zeer leerrijke ervaring. Ik heb veel bijgeleerd over het berekenen van de warmteverliezen van een gebouw en het ontwerpen van een verwarmingsinstallatie [1].

Heel wat mensen hebben bijgedragen om mijn masterproef succesvol te laten verlopen. Daarvoor wil ik hen bedanken. Eerst en vooral zou ik mijn externe promotor ing. Yves Heylands willen bedanken voor de goede begeleiding tijdens mijn masterproef. Hij heeft de tijd genomen om mijn vele vragen te beantwoorden [1].

Daarnaast wil ik graag mijn interne promotor ir. Geert Vandensande bedanken voor de fijne begeleiding die ervoor gezorgd heeft dat mijn masterproef altijd in de goede richting ging [1].

Ook wil ik de werknemers van het bedrijf bedanken voor de hulp en antwoorden op mijn vragen [1].

Juni 2018
Tom Schouteden

Inhoudsopgave

Woord vooraf	1
Lijst van tabellen.....	5
Lijst van figuren	7
Abstract	9
Abstract in English	11
1 Inleiding	13
1.1 Situering	13
1.2 Probleemstelling.....	14
1.3 Doelstelling.....	14
1.4 Materiaal en methode.....	15
2 Bespreking componenten.....	17
2.1 Omzetten energie.....	17
2.1.1 Warmtepomp	17
2.1.2 Doorstroom warmtewisselaar.....	19
2.1.3 Elektrische insteekbatterij.....	20
2.2 Buffervaten.....	20
2.3 Filter en vuilafscheider	21
2.3.1 Doel.....	21
2.3.2 Werking filter.....	21
2.3.3 Werking vuilafscheider	21
2.3.4 Plaatsing	22
2.4 Veiligheidsventiel	23
2.4.1 Doel.....	23
2.4.2 Werking	23
2.4.3 Plaatsing	23
2.5 Expansievat.....	24
2.5.1 Doel.....	24
2.5.2 Werking	24
2.5.3 Plaatsing	24
2.6 Beluchter	25
2.6.1 Doel.....	25
2.6.2 Werking	25
2.6.3 Plaatsing	25
2.7 Ontluchttingsapparatuur	26
2.7.1 Doel.....	26

2.7.2	Plaatsing	26
2.7.3	Soorten	27
2.8	Circulatiepomp	30
2.8.1	Doel.....	30
2.8.2	Werking	30
2.8.3	Plaatsing	30
2.9	Terugslagklep.....	31
2.9.1	Doel.....	31
2.9.2	Plaatsing	31
2.10	Driewegklep.....	32
2.10.1	Doel.....	32
2.10.2	Werking en plaatsing.....	32
2.11	Evenwichtsflessen	33
2.11.1	Doel.....	33
2.11.2	Werking en plaatsing.....	33
3	Toepassen methode van H.H. van den Kroonenberg	35
3.1	Situatieschets	35
3.2	Funcatieblokschema.....	35
3.3	Morfologisch overzicht.....	35
3.4	Schema	35
4	Berekeningen	37
4.1	Warmteweerstand berekenen	37
4.2	Warmteverliezen berekenen.....	39
4.3	Installatie dimensioneren.....	42
5	Besluit	53
	Bibliografie	55
	Bijlage	61
	Bijlage A: Inputspecificaties	63
	Bijlage B: Grondplan.....	65
	Bijlage C: Morfologisch overzicht.....	67
	Bijlage D: Situatieschetsen	71
	Bijlage E: Warmteweerstand van materialen berekenen	75
	Bijlage F: Berekenen warmteverliezen.....	81
	Bijlage G: Massadebiet per ruimte.....	95
	Bijlage H: Drukvalen	97
	Bijlage I: Circulatiepompen	107

Lijst van tabellen

Tabel 1: Resultaten warmteweerstand	37
Tabel 2: Overgangsweerstanden	39
Tabel 3: Richtwaarden binnentemperaturen	40
Tabel 4: Volumestromen	40
Tabel 5: Warmteverliezen door ventilatie	41
Tabel 6: Toeslagfactor M_o	41
Tabel 7: Totale warmteverliezen ruimtes	42
Tabel 8: Gegevens test stroomaggregaat 600 kVA	42
Tabel 9: Volume buffervat	43
Tabel 10: Massadebiet per kring	44
Tabel 11: Drukval per meter per kring van elke ruimte	45
Tabel 12: Drukval van één kring van elke ruimte	45
Tabel 13: Aantal kringen per ruimte	45
Tabel 14: Drukval van één kraan en terugslagklep	46
Tabel 15: Kv- / Kvs-waarde per kring per ruimte	47
Tabel 16: Volumestroom per kring per ruimte	47
Tabel 17: Drukvalen over de inregelkleppen van de collector	48
Tabel 18: Drukval over driewegkleppen	48
Tabel 19: Drukval over de evenwichtsfles, ontluchter en vuilafscheider	48
Tabel 20: Leidingverliezen	49
Tabel 21: Drukval per hoofdkring	49
Tabel 22: Opvoerhoogte	49
Tabel 23: Benodigde debiet	50
Tabel 24: Totaal volume installatie	50
Tabel 25: Volume toename installatie	50
Tabel 26: Geselecteerde componenten	51
Tabel 27: Morfologisch overzicht	67
Tabel 28: Gegevens buitenmuur loods	75
Tabel 29: Afzonderlijke en totale warmteweerstand buitenmuur loods	75
Tabel 30: Materialen dak bureel	76
Tabel 31: Afzonderlijke en totale warmteweerstand dak bureel	76
Tabel 32: Materialen dak loods	77
Tabel 33: Afzonderlijke en totale warmteweerstand dak loods	77
Tabel 34: Warmtedoorgangscoefficiënt vloer	77
Tabel 35: Materialen tussenwand	78
Tabel 36: Afzonderlijke en totale warmteweerstand tussenwand	78
Tabel 37: Warmtedoorgangscoefficienten deuren en ramen	79
Tabel 38: Warmtedoorgangscoefficienten poorten en raamkoepel	79
Tabel 39: Warmteverliezen \dot{Q}_{11} en \dot{Q}_{12} traphal 1	81
Tabel 40: Warmteverliezen \dot{Q}_{13} en \dot{Q}_{14} traphal 1	81
Tabel 41: Warmteverliezen \dot{Q}_{17} en \dot{Q}_{18} traphal 1	82
Tabel 42: Warmteverliezen \dot{Q}_{19} en \dot{Q}_{20} traphal 1	82
Tabel 43: Warmteverliezen \dot{Q}_{21} traphal 1	82
Tabel 44: Warmteverliezen \dot{Q}_{21} en \dot{Q}_{22} kleedruimte één	83
Tabel 45: Warmteverliezen \dot{Q}_{23} en \dot{Q}_{24} kleedruimte één	83
Tabel 46: Warmteverliezen \dot{Q}_{21} en \dot{Q}_{22} kleedruimte één	83
Tabel 47: Warmteverliezen \dot{Q}_{31} en \dot{Q}_{32} kantine	84

Tabel 48: Warmteverliezen \dot{Q}_{33} en \dot{Q}_{34} kantine.....	84
Tabel 49: Warmteverliezen \dot{Q}_{35} en \dot{Q}_{36} kantine.....	84
Tabel 50: Warmteverliezen \dot{Q}_{41} en \dot{Q}_{42} traphal twee	85
Tabel 51: Warmteverliezen \dot{Q}_{43} en \dot{Q}_{44} traphal twee	85
Tabel 52: Warmteverliezen vloer en plafond traphal twee	85
Tabel 53: Warmteverliezen \dot{Q}_{45} kantine twee.....	86
Tabel 54: Warmteverliezen \dot{Q}_{61} en \dot{Q}_{62} vergaderzaal	86
Tabel 55: Warmteverliezen \dot{Q}_{63} en \dot{Q}_{64} vergaderzaal	86
Tabel 56: Warmteverliezen \dot{Q}_{65} en \dot{Q}_{66} vergaderzaal	87
Tabel 57: Warmteverliezen \dot{Q}_{67} vergaderzaal	87
Tabel 58: Warmteverliezen \dot{Q}_{71} en \dot{Q}_{72} kleedkamer twee.....	87
Tabel 59: Warmteverliezen \dot{Q}_{73} en \dot{Q}_{74} kleedkamer twee.....	88
Tabel 60: Warmteverliezen \dot{Q}_{101} en \dot{Q}_{102} Laad- en loszone	89
Tabel 61: Warmteverliezen \dot{Q}_{103} en \dot{Q}_{104} Laad- en loszone	89
Tabel 62: Warmteverliezen \dot{Q}_{105} en \dot{Q}_{106} Laad- en loszone	89
Tabel 63: Warmteverliezen \dot{Q}_{107} en \dot{Q}_{108} Laad- en loszone	90
Tabel 64: Warmteverliezen \dot{Q}_{109} Laad- en loszone.....	90
Tabel 65: Warmteverliezen \dot{Q}_{111} en \dot{Q}_{112} loods.....	91
Tabel 66: Warmteverliezen \dot{Q}_{113} en \dot{Q}_{114} loods.....	91
Tabel 67: Warmteverliezen \dot{Q}_{115} en \dot{Q}_{116} loods.....	92
Tabel 68: Warmteverliezen \dot{Q}_{117} en \dot{Q}_{118} loods.....	92
Tabel 69: Warmteverliezen \dot{Q}_{119} en \dot{Q}_{120} loods.....	92
Tabel 70: Warmteverliezen \dot{Q}_{121} en \dot{Q}_{122} loods.....	93
Tabel 71: Warmteverliezen \dot{Q}_{123} en \dot{Q}_{124} loods.....	93
Tabel 72: Massadebiet per ruimte	95
Tabel 73: Snelheden door leidingen.....	99
Tabel 74: Drukval over kranen en terugslagkleppen.....	100
Tabel 75: Berekenen Kv- / Kvs-waarde per kring per ruimte	101
Tabel 76: Leidingverliezen	105

Lijst van figuren

Figuur 1: Stroomaggregaat.....	13
Figuur 2: Werking warmtepomp	17
Figuur 3: Water-waterwarmtepomp.....	18
Figuur 4: Grond-waterwarmtepomp.....	18
Figuur 5: Lucht-waterwarmtepomp	19
Figuur 6: Lucht-luchtwarmtepomp	19
Figuur 7: Elektrische doorstroomverwarmer	19
Figuur 8: Elektrische insteekbatterij.....	20
Figuur 9: Buffervaten.....	20
Figuur 10: Messing filter.....	21
Figuur 11: Doorsnede vuilafscheider.....	22
Figuur 12: Doorsnede van een veiligheidsventiel	23
Figuur 13: Werking van een expansievat	24
Figuur 14: Beluchter	25
Figuur 15: Vormen van lucht	26
Figuur 16: Ontluchtingskraantje.....	27
Figuur 17: Vlotterontluchter	27
Figuur 18: Luchtpot met vlotterontluchter	28
Figuur 19: Luchtafscheider	28
Figuur 20: Drukstapontgasser	29
Figuur 21: Centrifugaalpomp.....	30
Figuur 22: Terugslagklep met scharnierende klep	31
Figuur 23: Kogel terugslagklep (links) en terugslagklep met veerbelasting (rechts)	31
Figuur 24: Doorsnede driewegklep	32
Figuur 25: Evenwichtsfles.....	33
Figuur 26: Werking evenwichtsfles	33
Figuur 27: Functieblokschema	35
Figuur 28: Schema verwarmingsinstallatie	36
Figuur 29: Doorsnede geïsoleerd betonpaneel.....	38
Figuur 30: Warmtestroom kleedruimte één	40
Figuur 31: Drukverlies één kring traphal twee.....	44
Figuur 32: Drukverlies regelventiel collector traphal één van één kring	47
Figuur 33: Bureel Gelijkvloers	65
Figuur 34: Bureel Eerste verdieping	65
Figuur 35: Grondplan EP5.....	66
Figuur 36: Elektriciteitskabel	67
Figuur 37: Elektrische doorstroomverwarmer	67
Figuur 38: Elektrische boiler	67
Figuur 39: Lucht-waterwarmtepomp	67
Figuur 40: Verticale buffer zonder spiralen.....	67
Figuur 41: Verticale buffer met spiralen	67
Figuur 42: Horizontale buffer zonder spiralen	67
Figuur 43: Horizontale buffer met spiralen.....	67
Figuur 44: Veiligheidsventiel	68
Figuur 45: Veiligheidsventiel met manometer.....	68
Figuur 46: Vlotterontluchter	68
Figuur 47: Microbellen luchtafscheider	68

Figuur 48: Drukstapontgasser	68
Figuur 49: Driewegkraan	68
Figuur 50: Circulatiepomp 3 snelheden	69
Figuur 51: Circulatiepomp variabele snelheid.....	69
Figuur 52: Circulatiepomp 3 snelheden parallel	69
Figuur 53: Terugslagklep met scharnierende klep	69
Figuur 54: Kogel terugslagklep	69
Figuur 55: Terugslagklep met veerbelasting	69
Figuur 56: Collector	69
Figuur 57: Vloerverwarming.....	70
Figuur 58: Variabele druk: Expansievat met membraan.....	70
Figuur 59: Expansievat constante druk: Expansievat met compressor.....	70
Figuur 60: Expansievat constante druk: Expansievat met pomp	70
Figuur 61: Filter	70
Figuur 62: Vuilafscheider.....	70
Figuur 63: Situatieschets traphal één en kleedruimte één	71
Figuur 64: Situatieschets kantine en traphal twee.....	71
Figuur 65: Situatieschets kleedruimte twee en traphal één	72
Figuur 66: Situatieschets vergaderlokaal en traphal twee.....	72
Figuur 67: Situatieschets laad- en loszone	72
Figuur 68: Situatieschets loods.....	73
Figuur 69: Drukverlies traphal één (links) en kleedruimte één (rechts)	97
Figuur 70: Drukverlies kleedruimte twee (links) en vergaderlokaal (rechts)	97
Figuur 71: Drukverlies kantine (links) en magazijn (rechts)	98
Figuur 72: Drukval regelventiel collector kleedruimte één (links) en kantine (rechts)	102
Figuur 73: Drukval regelventiel collector van traphal twee (links) en vergaderzaal (rechts)	102
Figuur 74: Drukval regelventiel collector kleedruimte twee (links) en magazijn (rechts)	102
Figuur 75: Drukval driewegkraan gelijkvloers (links) en eerste verdieping (rechts).....	103
Figuur 76: Drukval driewegkraan magazijn.....	103
Figuur 77: Drukval evenwichtsfles.....	104
Figuur 78: Drukval over ontluchter en vuilafscheider	104
Figuur 79: Pompkarakteristiek bureel gelijkvloers (links) en eerste verdieping (rechts).....	107
Figuur 80: Pompkarakteristiek magazijn één, twee (links) en hoofdpomp (rechts)	107

Abstract

Europower Generators in Nieuwerkerken ontwerpt en produceert stroomaggregaten tot 600 kVA op maat van de klant. Elk stroomaggregaat wordt uitgebreid getest in een testruimte om te voldoen aan de eisen die met de klanten worden overeengekomen. Tijdens deze testen wordt de vrijgekomen energie opgestookt in een weerstandsbank. Deze weerstandsbank geeft zijn energie via warme lucht af aan de buitenomgeving. De masterproef heeft als doel de energie van deze stroomaggregaten te gebruiken om een loods en een bureel (EP5) te verwarmen via vloerverwarming. Daarvoor moet een verwarmingsinstallatie ontworpen worden.

Voor het ontwerpen van de installatie zijn de warmteverliezen van het gebouw berekend. De verwarmingsinstallatie is ontleed en uitgewerkt aan de hand van een situatieschets, functieblokschema en morfologisch overzicht. Daaruit zijn verschillende concepten samengesteld, om zo de beste oplossing te kiezen. De laatste stap was het dimensioneren van het gekozen concept.

Om de elektrische energie van de stroomaggregaten om te zetten in warmte en die warmte op te slaan is er gekozen voor buffervaten die voorzien zijn van elektrische verwarmingselementen. De vrijgekomen energie van het aantal jaarlijks geplande stroomaggregaten zal niet voldoende zijn om het gebouw EP5 te verwarmen. Dus er zal een extra verwarmingsbron nodig zijn.

Abstract in English

Europower Generators in Nieuwerkerken designs and manufactures power generators to 600 kVA tailored to the customer up. Each power generator is extensively tested in a test room to meet the high requirements agreed with the customers. During these tests, the released energy is dissipated in a load bank. This load bank gives off its energy as warm air to the environment. The purpose of the master's thesis is to use the energy of these power generators to heat a warehouse and an office (EP5) by underfloor heating. Therefore, a heating system has to be designed.

For the design of the system, the heat losses of the building were calculated. The heating system has been dissected and worked out on the basis of a situation sketch, function block diagram and morphological overview. Several concepts have been compiled to choose the best solution. The last step was dimensioning the chosen concept.

To convert the electrical energy of the power generators to heat and store them, there is chosen for buffer tanks with electric heating elements. The energy released by the number of annual power generators planned will not be sufficient to heat the building EP5. So an extra heating source will be required.

1 Inleiding

1.1 Situering

Deze masterproef vindt plaats bij EUROPOWER Generators te Nieuwerkerken. De opdracht bestaat uit het onderzoeken van een warmterecuperatiesysteem in de testruimte voor watergekoelde stroomaggregaten vanaf 60 kVA tot 600 kVA. Afhankelijk van de beschikbare tijd zal het ontwerp ook daadwerkelijk gebouwd worden.

Europower Generators is een fabrikant van stroomaggregaten. Dat zijn generatoren die aangedreven worden met een benzine- of dieselmotor. Deze verbrandingsmotor wordt gekoeld door lucht of water. Het streefdoel is om 300 watergekoelde stroomaggregaten tussen 60 kVA en 600 kVA per jaar te produceren tegen 2021.

Het bedrijf beschikt over een eigen ontwerpafdeling om klantgerichte ontwerpen mogelijk te maken. Wanneer het ontwerp af is, worden de maakdelen gefabriceerd door externe firma's en de aankoopdelen worden besteld. In het bedrijf worden de onderdelen geassembleerd tot een volledig stroomaggregaat. Na assemblage worden de stroomaggregaten getest in de testruimte. De kleinere stroomaggregaten zijn voorzien van luchtkoeling en de grotere van waterkoeling. De testduur van luchtgekoelde stroomaggregaten is twee tot drie minuten en voor watergekoelde is dit afhankelijk van het vermogen. Tot 40 kVA is de testtijd een kwartier en vanaf 40 kVA twee uur. Daarbij wordt gecontroleerd op spanning, frequentie, toerental, temperatuur, enz.

In de huidige situatie worden de stroomaggregaten belast met een weerstandsbank en deze geeft warmte af. De vrijgekomen warmte wordt tijdens koude dagen gebruikt om één van de bedrijfshallen te verwarmen. Wanneer er een aanvaardbare temperatuur is in de bedrijfshal wordt de weerstandsbank buiten geplaatst. Dit is een inefficiënte manier van recuperatie van energie.

Het doel is dat de opgewekte energie gebruikt wordt om het nieuwe gebouw EP5 te verwarmen. Dat is een opslagplaats, kantine en vergaderzaal. Deze ruimtes zijn voorzien van buizen voor vloerverwarming maar deze zijn nog niet aangesloten op een verwarmingsinstallatie. Mijn taak is het onderzoeken van mogelijke oplossingen om dit project te realiseren. Daardoor zullen deze ruimtes niet onderhevig zijn aan grote temperatuurschommelingen.



Figuur 1: Stroomaggregaat [2]

1.2 Probleemstelling

Tot op heden wordt het magazijn van het gebouw EP5 niet verwarmd. De vergaderzaal en de kantine van het gebouw EP5 worden elektrisch verwarmd met twee 12 kW elektrische heaters en vier aircoheaters van 3,8 kW. Het gebouw EP5 kan verwarmd worden met de weerstandsbank. Deze wordt dan aangesloten op het watergekoelde stroomaggregaat in de testruimte. Wanneer de test voorbij is zal er niet meer verwarmd worden.

Elke test van een watergekoeld stroomaggregaat met een vermogen vanaf 60 kVA duurt twee uur. Dat verloopt in verschillende fasen. De aggregaten worden belast op 50, 100, 110 en 50 % van het nominale vermogen respectievelijk bij een tijdsduur van 20, 60, 20 en 20 minuten. Het vermogen dat getest wordt situeert zich in de range van 60 kVA tot 600 kVA. Vanaf het jaar 2021 verwacht men een testvolume van 300 watergekoelde stroomaggregaten te bouwen. Omdat er niet elke dag een test is en er op korte tijd veel energie vrijgegeven wordt zijn er grote temperatuurschommelingen in het gebouw.

In het gebouw EP5 zijn de buizen van de vloerverwarming al geplaatst, maar er is nog geen verwarmingsinstallatie waarop deze aangesloten kunnen worden.

Door dat werkingsprincipe zijn er grotere temperatuurschommelingen in het gebouw EP5 dan wanneer de energie geleidelijk wordt vrijgegeven. In deze ruimtes moet er een constante temperatuur zijn.

1.3 Doelstelling

De doelstelling is een manier zoeken om de energie die vrijkomt bij het testen van de watergekoelde stroomaggregaten vanaf 60 kVA tot 600 kVA te kunnen gebruiken om het gebouw EP5 te verwarmen.

Deze ruimtes moeten verwarmd worden door middel van vloerverwarming. De buizen van deze vloerverwarming zijn al geplaatst. De resterende componenten van de verwarmingsinstallatie moeten nog correct gekozen en gedimensioneerd worden. Daarbij moet er rekening gehouden worden met de meest economische manier van energieopslag en energiegebruik. Er moet een goede balans zijn tussen kwaliteit en prijs. De installatie moet juist gedimensioneerd worden om aan de vraag naar warmte te kunnen beantwoorden. Ook zullen de eisen en eventuele wensen van EUROPOWER Generators vervuld moeten worden. Deze zijn terug te vinden in de bijlage op pagina 63.

Deze installatie moet volledig automatisch de temperatuur regelen en het gebouw EP5 verwarmen zonder dat er grote afwijkingen zijn tussen ingestelde en werkelijke waarden.

1.4 Materiaal en methode

De ontwerpmethode die bij dit project wordt toegepast is de methode van H.H. van den Kroonenberg [3].

De eerste stap is een situatieschets maken van de begintoestand. Zo krijgt men een visueel beeld van de problemen en wordt het warmteverlies van het gebouw EP5 berekend [3].

Stap twee is een functieblokschema opstellen. Dat is een blokschema waarin de verschillende deelfuncties beschreven staan. Om de verschillende deelfuncties te definiëren wordt er een literatuurstudie over de benodigde componenten gedaan. Deze deelfuncties geven aan welke stappen er moeten uitgevoerd worden om de doelstellingen te behalen [3].

Bij stap drie wordt er een morfologisch overzicht opgesteld. Daarbij wordt bij elke deelfunctie naar mogelijke oplossingen gezocht om de doelstellingen, eisen en wensen te behalen. Tijdens deze stap zal de installatie correct gedimensioneerd worden. Maar om dat te doen zullen er gegevens van de materialen die gebruikt zijn bij de bouw van gebouw EP5 verzameld moeten worden [3].

Bij stap vier worden de verschillende deelfuncties gecombineerd waardoor er een volledige installatie ontstaat. Deze stap wordt enkele malen herhaald zodat er verschillende installaties ontstaan die opgebouwd zijn uit verschillende deelfuncties. Uiteindelijk zal de installatie gekozen worden die het beste beantwoordt aan de doelstellingen, eisen en wensen van EUROPOWER Generators. Van de gekozen installatie wordt er een P&ID-schema gemaakt [3].

2 Bespreking componenten

In dit hoofdstuk worden de verschillende componenten besproken die nodig zijn om een verwarmingsinstallatie correct te laten werken.

2.1 Omzetten energie

De energie die vrijkomt bij het testen van de stroomaggregaten wordt omgezet om het gebouw EP5 via de vloerverwarming te verwarmen. Om dat mogelijk te maken kan er gebruik gemaakt worden van de volgende componenten. Deze worden verder besproken.

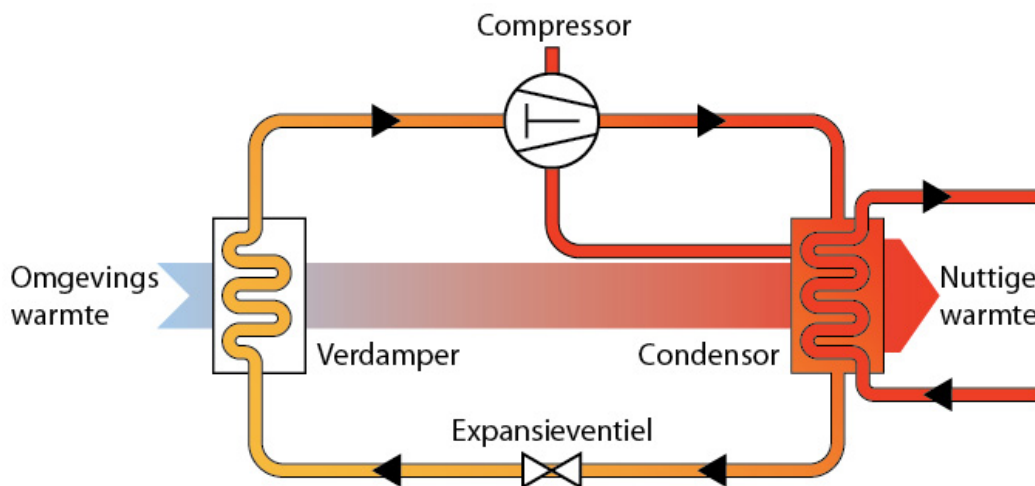
2.1.1 Warmtepomp

Door het gebouw te verwarmen met een warmtepomp is de verhouding tussen het elektriciteitsverbruik en de afgegeven warmte groter dan één. Dat is het rendement en dat wordt uitgedrukt met de COP-waarde (Coefficient Of Performance). Omdat de COP-waarde groter is dan één is er minder elektrische energie nodig om een bepaalde hoeveelheid aan warmte te verkrijgen [4].

Via de warmtepomp kan het gebouw ook gekoeld worden [4].

2.1.1.1 Werking

De hoofdcomponenten van een warmtepomp zijn: verdamper, compressor, condensor en expansieventiel (zie Figuur 2). In het circuit bevindt zich een koelmiddel. Dat koelmiddel is vóór de verdamper vloeibaar en wanneer het koelmiddel uit de verdamper komt is het gasvormig. Dat komt omdat het koelmiddel warmte heeft onttrokken van de omgeving. Dan gaat het gasvormig koelmiddel door de compressor. Daardoor zal de druk en de temperatuur van het koelmiddel verhogen. Vervolgens gaat het koelmiddel door de condensor en zal het koelmiddel zijn warmte afgeven aan de omgeving. Daardoor zal het koelmiddel van gasvormig naar vloeistof overgaan. Tenslotte stroomt het koelmiddel door het expansieventiel. Dat zorgt ervoor dat de druk en temperatuur zal afnemen. Deze cyclus wordt steeds herhaald [5].



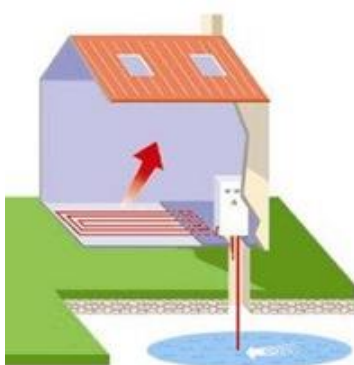
Figuur 2: Werking warmtepomp [6]

2.1.1.2 Soorten

Er zijn verschillende soorten warmtepompen:

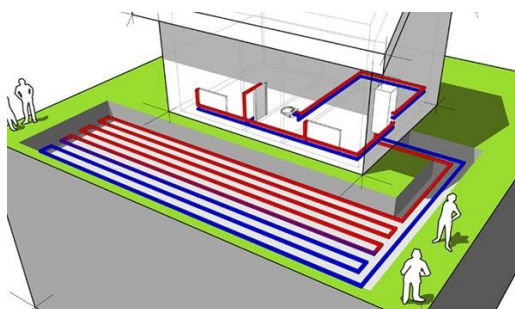
- water-waterwarmtepomp,
- grond-waterwarmtepomp,
- lucht-waterwarmtepomp,
- lucht-luchtwarmtepomp [7].

Bij de water-waterwarmtepomp (zie Figuur 3) wordt er warmte onttrokken uit het grondwater. Dat wordt gedaan door twee putten te boren, één pompput en één retourput. Deze putten worden geboord op een diepte van 25 tot 150 meter afhankelijk van de bodemsamenstelling. Het opgepompte water stroomt naar de verdamer en geeft warmte af aan het koelmiddel [8].



Figuur 3: Water-waterwarmtepomp [8]

Bij de grond-waterwarmtepomp (zie Figuur 4) zal de bodem warmte afgeven aan het koelmiddel dat zich bevindt in een ondergronds gesloten buizennetwerk. Nadien wordt deze warmte afgegeven aan het koelmiddel dat in de verdamer aanwezig is [9].



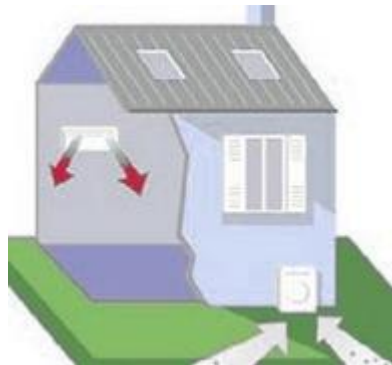
Figuur 4: Grond-waterwarmtepomp [9]

Bij de lucht-waterwarmtepomp (zie Figuur 5) wordt er buiten een unit geplaatst. Dat is een grote ventilator die de buitenlucht naar binnen zuigt. Deze lucht komt in contact met de verdamper en zal zijn warmte afgeven aan het koelmiddel [10].



Figuur 5: Lucht-waterwarmtepomp [11]

Bij de lucht-luchtwarmtepomp (zie Figuur 6) wordt er ook buiten een unit geplaatst zoals bij de lucht-waterwarmtepomp. Maar bij deze installatie wordt er binnen een unit geplaatst die warme lucht in het gebouw blaast [12].



Figuur 6: Lucht-luchtwarmtepomp [7]

2.1.2 Doorstroom warmtewisselaar

De doorstroom warmtewisselaar (zie Figuur 7) bestaat uit een elektrisch verwarmingselement en een cilinder. Het verwarmingselement zorgt ervoor dat de vloeistof die door de cilinder stroomt opwarmt. Deze warmte kan dienen om het gebouw te verwarmen [13].



Figuur 7: Elektrische doorstroomverwarmer [14]

2.1.3 Elektrische insteekbatterij

De elektrische insteekbatterij (zie Figuur 8) wordt in het buffervat geplaatst. Daardoor zal de vloeistof die aanwezig is in het buffervat opwarmen. Deze elektrische insteekbatterij kan voorzien zijn van een ingebouwde thermostaat met oververhittingsbeveiliging [15].

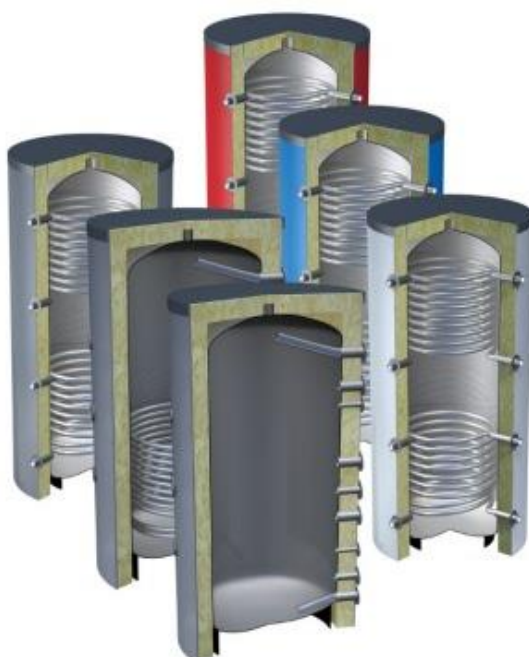


Figuur 8: Elektrische insteekbatterij [16]

2.2 Buffervaten

De buffervaten (zie Figuur 9) worden gebruikt om het warme water op te slaan. Daardoor is er een reserve aan energie. Dat heeft als gevolg dat er grote temperatuurverschillen opgevangen kunnen worden over een langere tijd [17].

Er zijn verschillende uitvoeringen van buffervaten. Sommige uitvoeringen zijn voorzien van spiralen. Deze dienen dan als warmtewisselaar. Er zijn buffervaten die horizontaal of verticaal geplaatst moeten worden [17].



Figuur 9: Buffervaten [17]

2.3 Filter en vuilafscheider

2.3.1 Doel

De filter en vuilafscheider worden in de installatie geplaatst om de verontreinigingen in het water van de installatie op te vangen [18].

Wanneer er lucht in de installatie terecht komt, zorgt dat voor oxidatie van deze installatie. Daardoor ontstaan er ijzeroxides, onder andere magnetiet. Dat is een magnetische stof. Deze kleine deeltjes worden meegenomen met de stroming van het water in de leidingen en zullen ophopen op verschillende plaatsen in de installatie, zoals op de driewegklep, pomprotoren, enz. Dat zal uiteindelijk leiden tot belemmering van de doorstroming, slijtage en storingen geven [18].

2.3.2 Werking filter

De filter bestaat uit een huis met daarin een zeef (zie Figuur 10). Deze houdt de vaste deeltjes van een bepaalde grootte tegen. Het stromend water moet door de filter vloeien, de vaste deeltjes worden dan door de zeef tegengehouden. Na verloop van tijd zal de zeef verzadigd raken en zal de drukval over de filter te groot worden. Dat is het moment waarop de zeef moet gereinigd of vervangen worden [19].



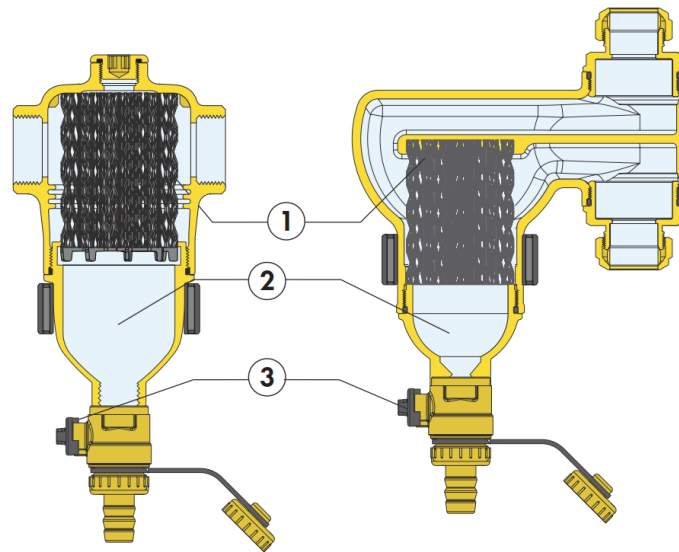
Figuur 10: Messing filter [20]

2.3.3 Werking vuilafscheider

Wanneer de vloeistof de vuilafscheider binnenstroomt zal het botsen met het interne element (1). Dat element is een geheel van oppervlakken met een netvormige structuur. De verontreinigingen die zich in het water bevinden zullen met dat element botsen. Daardoor wordt een deel van deze verontreinigingen afgescheiden en zakken deze naar de bodem van de vuilafscheider (2). Omdat dit component een ruim binnenvolume heeft wordt de stromingsnelheid van de vloeistof vermindert. Daardoor zal de afscheiding van de verontreinigingen bevorderd worden door de zwaartekracht. Om de verontreinigingen uit de vuilafscheider te verwijderen wordt de aftap opengedraaid (3). Dan zullen de verontreinigingen naar buiten stromen [21].

Enkele fabrikanten maken vuilafscidders die voorzien zijn van een magneet. Deze magneet zorgt ervoor dat de ijzerdeeltjes worden aangetrokken en niet verder in de installatie terechtkomen [21].

In onderstaande afbeelding (zie Figuur 11) is een doorsnede van een vuilafscheider weergegeven.



Figuur 11: Doorsnede vuilafscheider [21]

2.3.4 Plaatsing

Zowel de vuilafscheider als de filter worden in de retourleiding geplaatst. Er moet wel rekening gehouden worden met de stroomrichting van de vloeistof [19].

2.4 Veiligheidsventiel

Andere benamingen voor het veiligheidsventiel zijn: overdrukventiel, afblaasklep, veiligheidsklep of overstortventiel. In onderstaande afbeelding (zie Figuur 12) is een doorsnede van een veiligheidsventiel weergegeven [19].



Figuur 12: Doorsnede van een veiligheidsventiel [22]

2.4.1 Doel

Het veiligheidsventiel heeft als doel de verwarmingsinstallatie te beschermen tegen een te hoge druk [19].

2.4.2 Werking

Het veiligheidsventiel bestaat uit een klep die dicht wordt gehouden door een veer. De druk die nodig is om deze veer in te drukken is vooraf ingesteld door de fabrikant. Deze druk wordt aangeduid op het veiligheidsventiel [19].

Bij normale werking van de installatie is het veiligheidsventiel gesloten. Wanneer de druk in de installatie oploopt tot boven de maximale waarde zal de installatie beveiligd worden doordat de klep van het veiligheidsventiel opengaat. Door de klep zal er water en of stoom buiten de installatie stromen. De klep zal terug sluiten wanneer de druk in de installatie onder de maximale waarde daalt [19].

2.4.3 Plaatsing

Het veiligheidsventiel moet geplaatst worden tussen de buffer en de afsluitkraan, op de aanvoerleiding van de verwarmingsinstallatie. De afvoeropening van het veiligheidsventiel mag niet afgesloten worden, deze kan aangesloten worden op de riolering [19].

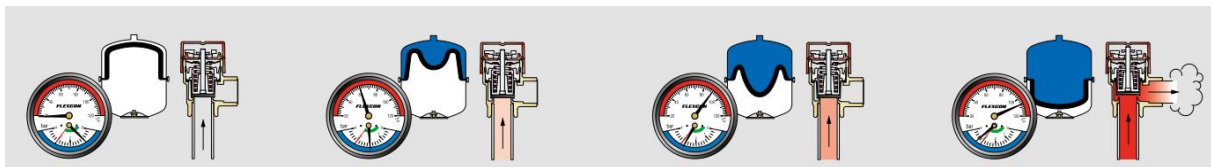
2.5 Expansievat

2.5.1 Doel

Door de temperatuursveranderingen van de verwarmingsinstallatie zal bij het afkoelen het water krimpen en bij het verwarmen uitzetten. Daardoor zal het water in deze installatie steeds van volume veranderen. Dat zorgt ervoor dat de druk in de installatie varieert. Om dat te voorkomen wordt er gebruik gemaakt van een expansievat. Wanneer dat vat correct gedimensioneerd is zal de druk nooit onder de minimale of boven de maximale druk komen. Dat zorgt voor een optimale werking van de installatie [23].

2.5.2 Werking

Het expansievat kan de volumeveranderingen opvangen omdat deze opgebouwd is uit twee delen die van elkaar gescheiden zijn door een membraan. Aan één kant van het membraan is er stikstofgas aanwezig en aan de andere kant het water van de verwarmingsinstallatie. Bij opwarming van het water in de installatie zal het water uitzetten. Om deze uitzetting op te vangen zal het stikstofgas samengedrukt worden. Daardoor zal de druk in de installatie stijgen. Wanneer de druk in het expansievat de maximale waarde overschrijdt zal het veiligheidsventiel opengaan en er zal water of stoom naar buiten stromen. Dat heeft als gevolg dat de druk in de installatie afneemt. Wanneer de druk in de installatie gedaald is onder de maximale waarde sluit het veiligheidsventiel. In onderstaande afbeelding (zie Figuur 13) worden de verschillende stappen weergegeven bij volumeverandering in het expansievat [19].



Figuur 13: Werking van een expansievat [24]

2.5.3 Plaatsing

Bij het plaatsen van een expansievat in de verwarmingsinstallatie moeten de volgende punten in acht genomen worden. Het expansievat moet op de retourleiding van de buffer aangesloten worden. Omdat het water dat door de retourleiding stroomt een lagere temperatuur heeft dan de aanvoerleiding. Dat zorgt voor een langere levensduur van het expansievat. Het expansievat moet zo dicht mogelijk bij de buffer geplaatst worden. Dat wordt gedaan om het drukverlies tussen het expansievat en de buffer tot een minimum te beperken. Het expansievat wordt bevestigd aan de zuigzijde van de pomp. Daardoor wordt een minimum druk aan de zuigzijde van de pomp gegarandeerd. Dat zorgt ervoor dat er geen cavitatie kan optreden [23].

Ook moet er een afsluitkraan met aftapmogelijkheid in de expansieleiding voorzien zijn. Deze afsluitkraan moet beveiligd zijn tegen bediening door onbevoegden. Dat omdat er een open verbinding moet zijn tussen buffer en expansievat [19].

2.6 Beluchter

2.6.1 Doel

De beluchter (zie Figuur 14) zal de verwarmingsinstallatie beschermen tegen onderdruk. Wanneer er een onderdruk ontstaat zal de klep van de ontluchter openen en kan er lucht in de verwarmingsinstallatie stromen [19].



Figuur 14: Beluchter [25]

2.6.2 Werking

Wanneer er een onderdruk ontstaat in de verwarmingsinstallatie zal de klep, die in de beluchter zit, opengaan. Dat zorgt ervoor dat er lucht in de installatie kan stromen, omdat de druk in de installatie lager is dan de omgevingsdruk. Daardoor kan de onderdruk niet verder in de installatie oplopen. Deze onderdruk wordt gecreëerd wanneer er water uit de installatie verdwijnt [19].

2.6.3 Plaatsing

De beluchter wordt geplaatst op het hoogste punt van de installatie of op de verwarmingsketel [19].

2.7 Ontluchtingsapparatuur

2.7.1 Doel

Ontluchtingsapparatuur wordt gebruikt om lucht en andere gassen (zie Figuur 15) uit de installatie te verwijderen. Er wordt gebruikt gemaakt van de volgende ontluchtingsapparatuur:

1. een snel- of vlotterontluchter om de vrije lucht te verwijderen;
2. een microbellenafscheider om microbellen te verwijderen;
3. een drukstapontgasser om de gassen die in het water opgelost zijn te verwijderen [19].

Lucht komt in de verwarmingsinstallatie, omdat deze lucht al aanwezig is voor het vullen. Ook bevat het vulwater opgeloste lucht. Via een onderdruk in de installatie kan er ook lucht in het water terecht komen. Andere gassen worden gevormd door het corrosieproces [19].

Bij een temperatuursverhoging en/of drukverlaging zullen de gassen in de vorm van microbellen vrijkomen in de verwarmingsinstallatie [19].

Wanneer er lucht in de installatie aanwezig is zorgt dat voor een isolerende werking. Dat is nadelig voor het rendement van de installatie. Ook zorgt deze lucht ervoor dat de installatie gaat corroderen. Daardoor gaan de componenten sneller verslijten [19].



Figuur 15: Vormen van lucht [19]

2.7.2 Plaatsing

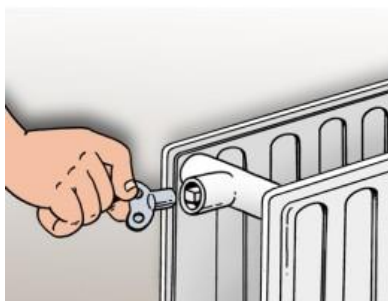
De ontluchtingsapparatuur wordt geplaatst op het hoogste punt van dat deel van de installatie. Wanneer de stromingsrichting verandert van horizontaal naar verticaal beneden, zal de lucht bij deze overgang verzamelen. Op deze plaats moet een ontluchter geplaatst worden [19].

2.7.3 Soorten

Er zijn vijf soorten ontluchters:

- ontluchtingskraantje,
- vlotterontluchter,
- luchtpot,
- luchtafscheider,
- drukstapontgasser [19].

Het ontluchtingskraantje (zie Figuur 16) is een naaldkraan die geplaatst wordt op het verwarmingselement of op een luchtpot. Om de lucht uit de installatie te verwijderen moet het kraantje door een handwiel of speciale sleutel geopend worden [19].



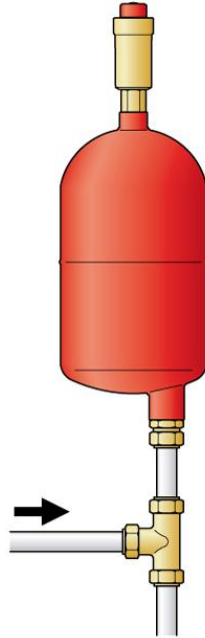
Figuur 16: Ontluchtingskraantje [26]

De vlotterontluchter (zie Figuur 17) wordt ook automatische ontluchter genoemd. Deze heeft de functie om de installatie continue en automatisch te ontlichten. Deze vlotterontluchter bestaat uit een huis waarin een vlotter drijft op het water. Doordat de lucht in het bovenste gedeelte van de vlotterontluchter verzameld wordt daalt het waterniveau. Dat heeft als gevolg dat de vlotter ook zal dalen en het ontluchtingsventiel zal openen. De lucht wordt verwijderd uit de installatie. Daardoor zal het waterniveau in de vlotterontluchter stijgen en ook de vlotter. Deze zal het ontluchtingsventiel sluiten [19].



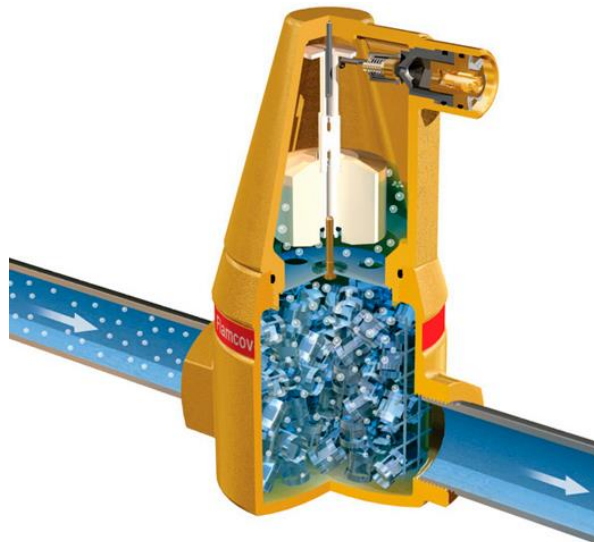
Figuur 17: Vlotterontluchter [27]

De luchtpot (zie Figuur 18) is een bolvormig of cilindervormig vat om lucht te verzamelen. Deze wordt voorzien van een vlotterontluchter en wordt gemonteerd op plaatsen in de installatie waar er veel lucht verzameld wordt [19].



Figuur 18: Luchtpot met vlotterontluchter [28]

De luchtafscieder (zie Figuur 19) verwijdert de microbellen die ontstaan door temperatuurstijging van het vulwater uit de installatie. Dat verwijderen kan op verschillende manieren. Via het principe van centrifugale kracht of een vertraagde doorstroming. Om de verzamelde lucht te verwijderen uit de installatie is de luchtafscieder voorzien van een ingebouwde vlotterontluchter [19].



Figuur 19: Luchtafscieder [29]

De drukstapontgasser (zie Figuur 20) wordt ook vacuümontgasser genoemd. Deze verwijdert opgeloste gassen in het vulwater door de druk te verlagen. Daardoor kan het vulwater minder lucht in oplossing houden. De drukstapontgasser is voorzien van een vlotterontluchter om de lucht te verwijderen uit de installatie [19].



Figuur 20: Drukstapontgasser [30]

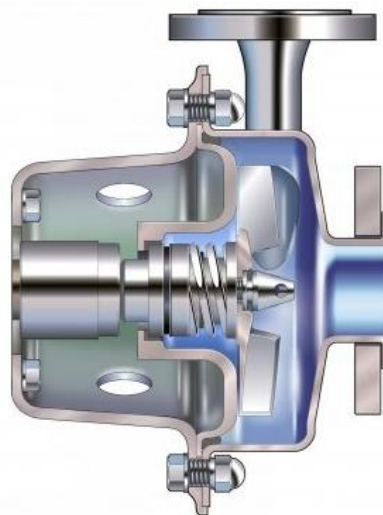
2.8 Circulatiepomp

2.8.1 Doel

Het doel van een circulatiepomp (zie Figuur 21) is het rond pompen van het vulwater. Daardoor wordt de warmte getransporteerd naar de gewenste warmtewisselaars [19].

2.8.2 Werking

De pompen die gebruikt worden als circulatiepomp in een verwarmingsinstallatie zijn centrifugaalpompen. Bij deze pompen wordt de pompas aangedreven, waarop een schoepenrad is bevestigd. Door de draaiende beweging van dat rad wordt het water naar de buitenkant van het pomphuis gestuurd. Daardoor ontstaat er een drukverlaging aan de inlaatzijde van het pomphuis en een drukverhoging aan de uitlaatzijde. Er zijn pompen met drie vaste toerentallen en toerentalgeregelde. De toerentalgeregelde pompen passen hun toerental automatisch aan de vraag naar warmte [19].



Figuur 21: Centrifugaalpompe [31]

2.8.3 Plaatsing

De circulatiepomp wordt zo dicht mogelijk bij de buffers geplaatst. Daardoor zal de aanzuigdruk van de pomp niet onder de NPSH waarde (Net Positive Suction Head) komen [19].

2.9 Terugslagklep

2.9.1 Doel

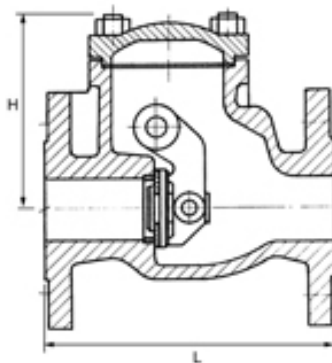
De terugslagklep laat de vloeistof maar in één richting stromen, in de andere richting wordt de stroming geblokkeerd [19].

2.9.2 Plaatsing

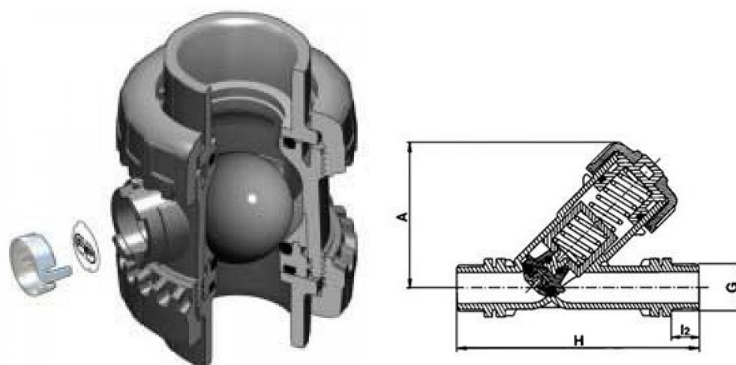
De plaatsing van de terugslagklep is afhankelijk van de soort. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de volgende terugslagkleppen:

- terugslagklep met scharnierende klep (zie Figuur 22),
- kogelterugslagklep (zie Figuur 23),
- terugslagklep met veerbelasting (zie Figuur 23) [19].

Zowel de terugslagklep met scharnierende klep, de kogelterugslagklep en de terugslagklep met veerbelasting kunnen horizontaal geplaatst worden. De twee laatste kunnen ook verticaal in de leiding gemonteerd worden. [19]



Figuur 22: Terugslagklep met scharnierende klep [32]



Figuur 23: Kogelterugslagklep [33] (links) en terugslagklep met veerbelasting [34] (rechts)

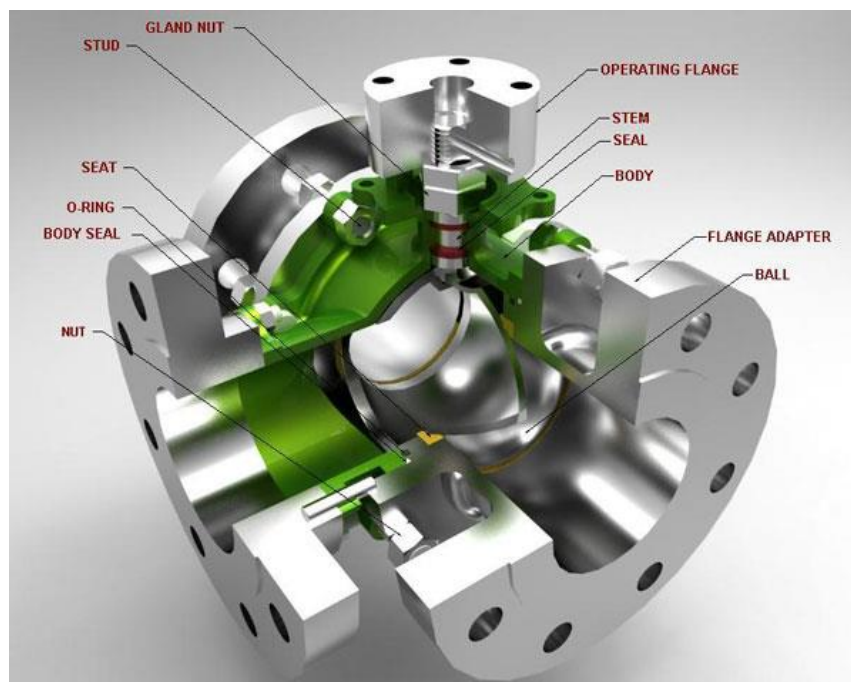
2.10 Driewegklep

2.10.1 Doel

De driewegklep (zie Figuur 24) heeft als doel het regelen van de vloeistofstromen door de verschillende leidingen. Daardoor stroomt de vloeistof met de gewenste temperatuur door de buizen [19].

2.10.2 Werking en plaatsing

Wanneer de driewegklep voor de pomp geplaatst is zal de pomp vloeistof aanzuigen uit de twee leidingen. Zowel van de aanvoerleiding als van de retourleiding. Door de stand van de driewegklep zal het debiet van elke leiding geregeld worden. Daardoor wordt de gewenste temperatuur verkregen aan de uitgang van de driewegklep [19].



Figuur 24: Doorsnede driewegklep [35]

2.11 Evenwichtsflessen

2.11.1 Doel

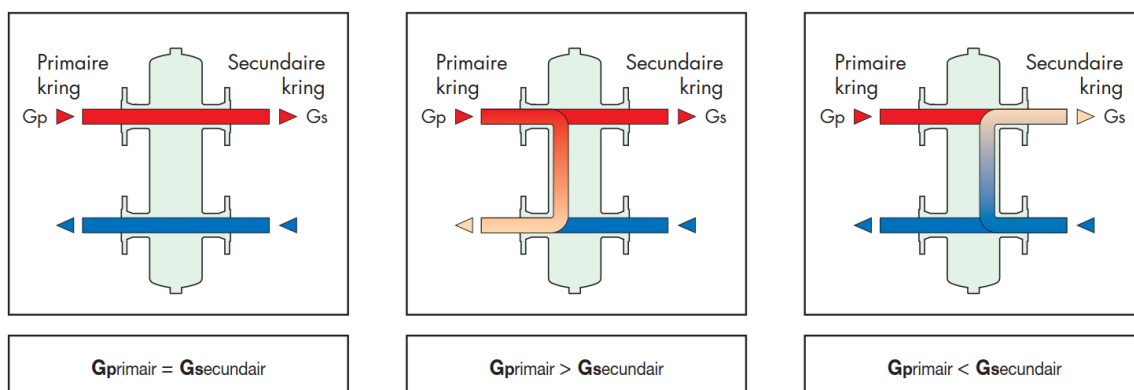
Wanneer de installatie een primaire kringloop heeft met eigen pomp en de secundaire kringlopen hebben één of meerdere pompen kunnen deze pompen op elkaar inwerken. Dat kan er voor zorgen dat de debieten en opvoerhoogten van de kringlopen elkaar gaan beïnvloeden. Om dat te voorkomen zal er gebruik gemaakt worden van een evenwichtsfles (zie Figuur 25) [36].



Figuur 25: Evenwichtsfles [37]

2.11.2 Werking en plaatsing

De evenwichtsfles zorgt voor een zone met een beperkte weerstand. Daardoor zullen de primaire en secundaire kringlopen hydraulisch onafhankelijk worden. Dat zorgt ervoor dat het debiet in de verschillende kringlopen uitsluitend afhangt van het debiet van de pompen. Door gebruik te maken van een evenwichtsfles kan er een primaire kringloop gecreëerd worden met een constant debiet en een secundaire kring met een variabel debiet. In onderstaande afbeelding (zie Figuur 26) worden de drie verschillende situaties van hydraulisch evenwicht weergegeven [36].



Figuur 26: Werking evenwichtsfles [36]

De evenwichtsfles wordt geplaatst tussen de hoofd en secundaire kringloop [36].

3 Toepassen methode van H.H. van den Kroonenberg

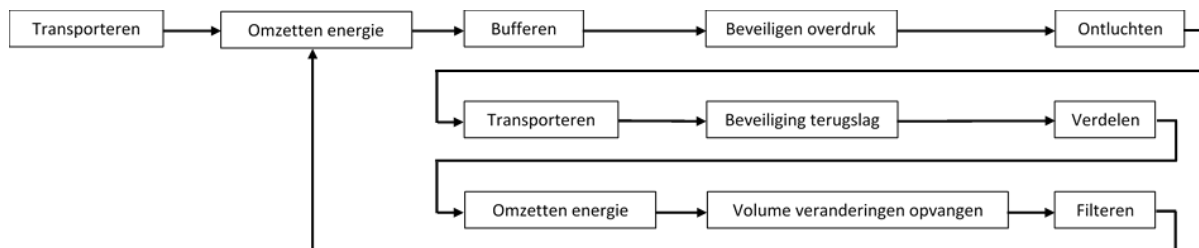
In dit hoofdstuk wordt er uitgelegd hoe de methode van H.H. van den Kroonenberg is toegepast op deze masterproef [3].

3.1 Situatieschets

Om de functies te bepalen moet eerst de beginsituatie gekend zijn. Daarvoor moet er een situatieschets gemaakt worden. Deze is terug te vinden in de bijlage op pagina 65.

3.2 Functieblokschema

Het functieblokschema is een schema waarin de verschillende deelfuncties staan om een werkende installatie te verkrijgen. In onderstaande afbeelding (zie Figuur 27) wordt het functieblokschema van de verwarmingsinstallatie weergegeven. Eerst moet de energie van het stroomaggregaat getransporteerd worden. Dan moet de energie omgezet en opgeslagen worden. De installatie moet beveiligd en ontlucht worden. Nadien moet de energie getransporteerd en verdeeld worden naar de vloerverwarming. De volumeveranderingen moeten opgevangen en het gebruikte medium moet gefilterd worden [3] [19].



Figuur 27: Functieblokschema [3] [19]

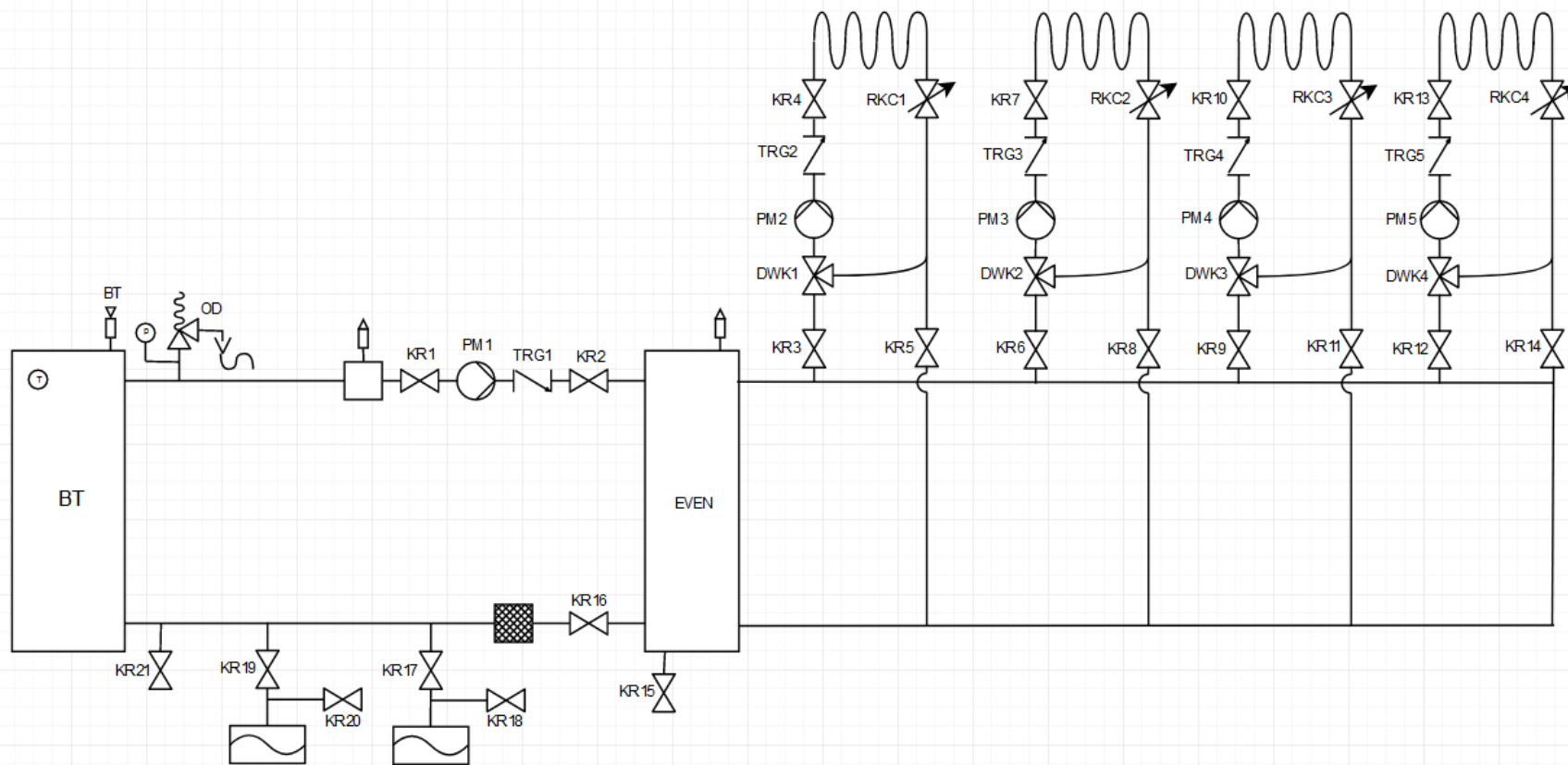
3.3 Morfologisch overzicht

Wanneer het functieblokschema af is moeten de deelfuncties ingevuld worden. Om de energie te transporteren van het stroomaggregaat wordt er kabel gebruikt. Het omzetten van de elektrische energie kan gedaan worden door gebruik te maken van een elektrische doorstroomverwarmer, een elektrische boiler of via een warmtepomp. De overige deelfuncties zijn standaard onderdelen van een verwarmingsinstallatie. De uitleg van deze componenten zijn terug te vinden in hoofdstuk 2. Het morfologisch overzicht is terug te vinden in de bijlage op pagina 67 [3] [19].

3.4 Schema

Er is uiteindelijk gekozen voor elektrische boilers. Dat zijn buffertanks die voorzien zijn van elektrische verwarmingselementen. Deze oplossing is gekozen omdat op een eenvoudige manier de stroomaggregaten belast kunnen worden op een bepaald percentage. Wat betreft de kostprijs zou dat waarschijnlijk de voordeligste oplossing zijn. Bij de warmtepomp moeten putten geboord worden in de grond en een unit geplaatst worden. Bij de doorstroomverwarmer moet een extra pomp geplaatst worden. Dat zorgt voor extra kosten.

In de onderstaande afbeelding (zie Figuur 28) wordt het schema van de verwarmingsinstallatie weergegeven.



Figuur 28: Schema verwarmingsinstallatie [19]

4 Berekeningen

In dit hoofdstuk worden de warmteweerstanden en warmteverliezen bepaald op basis van gedetailleerde bouwplannen en constructiematerialen van het gebouw. Wanneer de warmteverliezen gekend zijn kan de installatie gedimensioneerd worden. Het grondplan van het gebouw EP5 is terug te vinden in de bijlage op pagina 65.

4.1 Warmteweerstand berekenen

Om de warmteverliezen van het gebouw te berekenen moet eerst de warmteweerstand van de afzonderlijke materialen bepaald worden. De informatie van deze materialen zijn aangevraagd bij de architect.

De buitenmuren van het bureel zijn geïsoleerde betonpanelen (zie Figuur 29). Dat zijn panelen die aan de buitenkant bestaan uit gewapend beton waartussen isolatiemateriaal is aangebracht. Het gewapend beton heeft aan de buitenkant een dikte van 0,07 m, aan de binnenkant een dikte van 0,1 m en de isolatie is 0,08 m dik. Respectievelijk hebben deze materialen een warmtegeleidingscoëfficiënt van 2,2 W/(m·K), 1,7 W/(m·K) en 0,022 W/(m·K). Om de warmteweerstand van deze muren te bepalen wordt volgende formule (4.1) toegepast op elk deel van het paneel [38] [39] [40] [41].

$$R_k = \frac{s}{\lambda} \quad (4.1)$$

Waarbij:

s = dikte in meter

λ = warmtegeleidingscoëfficiënt in W/(m·K)

R_k = warmteweerstand in (m²·K)/W [38]

De uitkomsten van de afzonderlijke delen worden hieronder weergegeven (zie Tabel 1).

Tabel 1: Resultaten warmteweerstand [38] [39] [40] [41]

Rk1	0,059	[(m ² ·K)/W]
Rk2	3,6	[(m ² ·K)/W]
Rk3	0,032	[(m ² ·K)/W]

Aangezien de afzonderlijke delen in serie geplaatst zijn moet de volgende formule (4.2) gebruikt worden om de totale warmteweerstand van deze muur te berekenen [38].

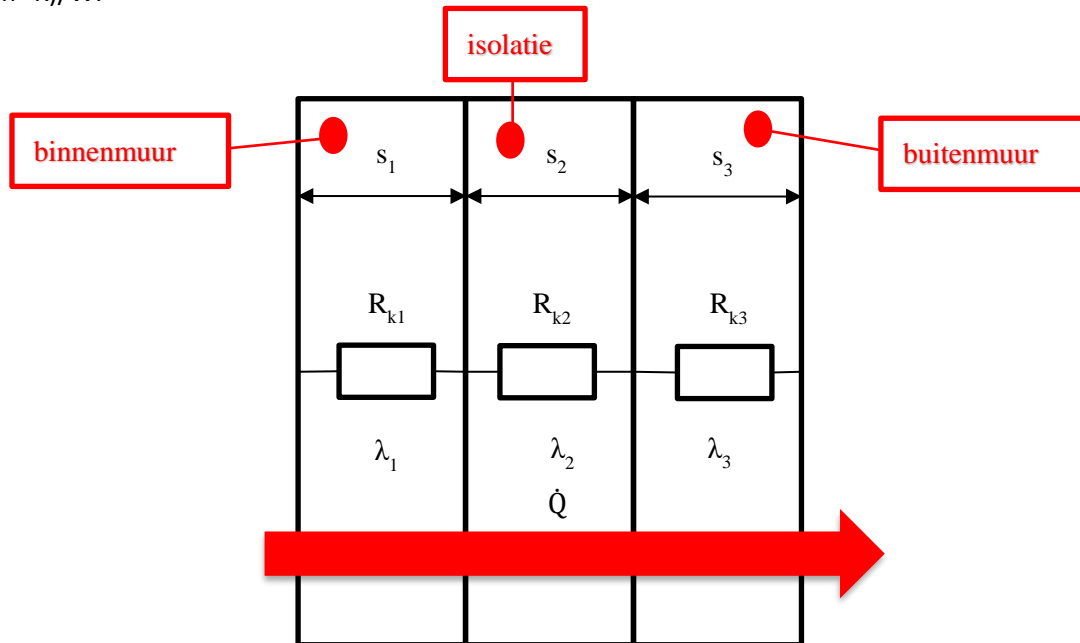
$$R_{ktot} = \sum R_{ki} \quad (4.2)$$

Waarbij:

R_{ki} = afzonderlijke warmteweerstand in (m²·K)/W

R_{ktot} = totale warmteweerstand in (m²·K)/W [38]

De uitkomst van deze totale warmteweerstand van de geïsoleerde betonpanelen bedraagt 3,7 (m²·K)/W.






Figuur 29: Doorsnede geïsoleerd betonpaneel

De warmteweerstand van het plafond, dak, vloer en de binnenmuren worden op een analoge manier berekend als daarboven, deze zijn terug te vinden in de bijlage op pagina 75. Voor de ramen, deuren en poorten zijn de waardes uit het as built gehaald [41]. Deze zijn terug te vinden in de bijlage op pagina 79.

4.2 Warmteverliezen berekenen

Wanneer alle warmteweerstanden gekend zijn kunnen de warmteverliezen berekend worden. Omdat er rond de muur nog lucht aanwezig is die een isolerende werking heeft moet deze warmteovergangswaarde (zie Tabel 2) ook in rekening gebracht worden [38].

Tabel 2: Overgangswaarden [38]

Richting warmtestroom	Element	R_{si} in $(m^2 \cdot K) / W$	R_{se} in $(m^2 \cdot K) / W$
	muur, raam	0,13	0,04
	dak, plafond	0,10	0,04
	Vloer	0,17	0,04

Om de warmteverliezen van het gebouw te berekenen moet volgende formule (4.3) gebruikt worden. Daarbij wordt de warmtedoorgangscoefficiënt berekend via formule (4.4) [38].

$$\dot{Q} = \left(\sum U_i \cdot A_i \right) \cdot (T_{in} - T_{buit}) \quad (4.3)$$

Waarbij:

U_i = warmtedoorgangscoefficiënt in $W/(m^2 \cdot K)$

A_i = oppervlakte in m^2

T_{in} = binnentemperatuur in K

T_{buit} = buitentemperatuur in K

\dot{Q} = warmtestroom in J/s [38]

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_{k1} + R_{k2} + \dots + R_{se}} \quad (4.4)$$

Waarbij:

R_{si} = warmteovergangswaarde binnen in $(m^2 \cdot K) / W$

R_k = warmteweerstand in $(m^2 \cdot K) / W$

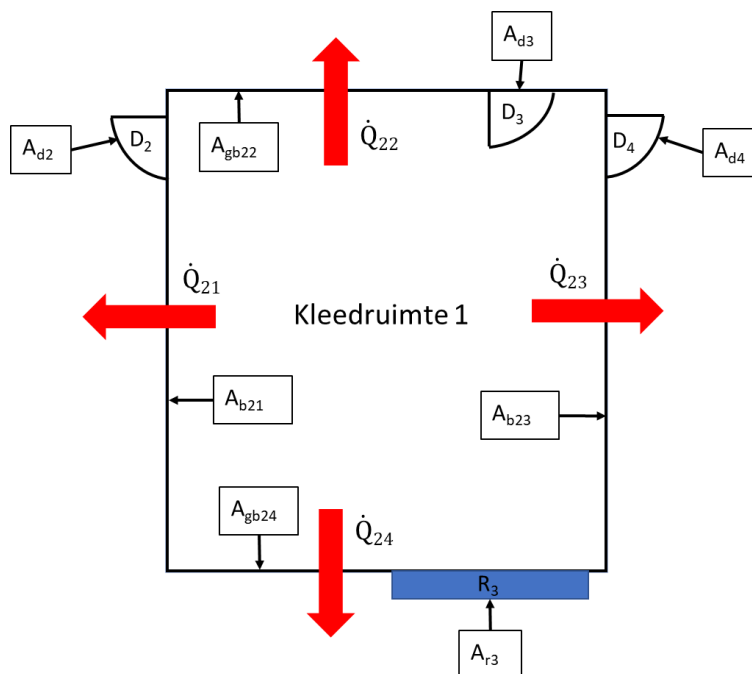
R_{se} = warmteovergangswaarde buiten in $(m^2 \cdot K) / W$

U = warmtedoorgangscoefficiënt in $W/(m^2 \cdot K)$ [38]

Voor het berekenen van bijvoorbeeld de warmtestroom \dot{Q}_{24} moet een muur- en raamoppervlakte bepaald worden. Aangezien de kleedruimte ook een badkamer is moet de temperatuur (zie Tabel 3) van deze ruimte 24 °C bedragen. De buitentemperatuur moet volgens de norm NBN 62-003 genomen worden op min acht °C in Nieuwerkerken. Dat is het daggemiddelde van de buitentemperatuur dat jaarlijks maar één keer wordt overschreden. Voor de kleedruimte één is er een situatieschets (zie Figuur 30) gemaakt om de warmtestromen weer te geven. De muur- en raamoppervlakte zijn respectievelijk 12,08 m^2 , 1,3 m^2 en de warmtedoorgangscoefficiënt van de muur bedraagt 0,271 $W/(m^2 \cdot K)$ en van het raam 1,3 $W/(m^2 \cdot K)$. Nu zijn alle waarden bekend om de formule (4.3) in te vullen om de warmtestroom \dot{Q}_{24} te berekenen. Deze warmtestroom \dot{Q}_{24} bedraagt 144,46 W. De berekeningen van de andere warmtestromen zijn terug te vinden in de bijlage op pagina 81 [38] [39] [40] [41].

Tabel 3: Richtwaarden binnentemperaturen [38]

Binnentemperaturen θ_{int} - ontwerptemperaturen	
Type lokaal	θ_{int} in °C
residentiële leefruimte	20
trappenhal	16
badkamer	24
bureau	20
gemeenschappelijke bureaus	20
vergaderzaal	20
auditorium	20
cafeteria / restaurant	20
klaslokaal	20
verpleegzaal	20
kerk	15
museum, galerij	16



Figuur 30: Warmtestroom kleedruimte één

In de kantine, kleedruimtes en vergaderlokaal is er ventilatie aanwezig. Daardoor zal er warmtestromen naar de aanliggende ruimtes. Deze warmteverliezen moeten dus ook in rekening gebracht worden. Aan de hand van de verkregen gegevens van de architect zijn volgende volumestromen (zie Tabel 4) bekend [38] [39].

Tabel 4: Volumestromen [39]

	Toevoer			Afvoer		
Traphal 1	V_{L1}	0	[m ³ /h]	V_{L2}	0	[m ³ /h]
Kleedruimte 1	V_{L3}	82,44	[m ³ /h]	V_{L4}	75	[m ³ /h]
Kantine	V_{L5}	22	[m ³ /h]	V_{L6}	168,28	[m ³ /h]
Traphal 2	V_{L7}	138,4	[m ³ /h]	V_{L8}	81	[m ³ /h]
Kleedruimte 2	V_{L9}	82,44	[m ³ /h]	V_{L10}	75	[m ³ /h]
Vergaderlokaal	V_{L11}	44	[m ³ /h]	V_{L12}	66,4	[m ³ /h]

Om de warmteverliezen door ventilatie te berekenen wordt onderstaande formule (4.5) toegepast [38].

$$\dot{Q}_V = 0,34 \cdot V_L \cdot (T_2 - T_1) \quad (4.5)$$

Waarbij:

\dot{Q}_V = warmteverlies door ventilatie in J/s

V_L = het luchtvolume in m³

T_1 = de temperatuur van de ruimte in K

T_2 = de temperatuur van de aanliggende ruimte in K [38]

In onderstaande tabel (zie Tabel 5) worden de warmteverliezen door ventilatie van de verschillende ruimtes weergegeven.

Tabel 5: Warmteverliezen door ventilatie [39]

	$\dot{Q}_{V,toevoer}$	$\dot{Q}_{V,afvoer}$	
Traphal 1	0	0	[J/s]
Kleedruimte 1	112,12	816	[J/s]
Kantine	209,44	228,86	[J/s]
Traphal 2	-188,22	-110,16	[J/s]
Vergaderlokaal	59,84	90,304	[J/s]
Kleedruimte 2	224,24	816	[J/s]

Om de totale warmteverliezen van de verschillende ruimtes te berekenen wordt de formule (4.6) toegepast. Daarbij worden de warmteverliezen van transmissie en ventilatie bij elkaar opgeteld. Deze uitkomst moet nog vermenigvuldigd worden met een toeslagfactor (zie Tabel 6). De toeslagfactor wordt bepaald aan de hand van de oriëntatie van de ongunstigste wand van de ruimte [38].

$$\dot{Q}_{HL} = \left(\sum \dot{Q}_T + \dot{Q}_V \right) \cdot (1 + M_o) \quad (4.6)$$

Waarbij:

\dot{Q}_{HL} = totale warmteverliezen van een ruimte in J/s

\dot{Q}_T = transmissieverliezen van de ruimte in J/s

\dot{Q}_V = ventilatieverliezen van de ruimte in J/s

M_o = toeslagfactor voor oriëntatie [38]

Tabel 6: Toeslagfactor M_o [38]

oriëntatie	noord	oost	zuid	west
M_o	0,05	0,025	0	0,025

In onderstaande tabel (zie Tabel 7) worden de resultaten van de totale warmteverliezen van de verschillende ruimtes weergegeven. Het totale warmteverlies van deze ruimtes bij een buitentemperatuur van min acht graden Celsius bedraagt 75463 J/s.

Tabel 7: Totale warmteverliezen ruimtes [38]

	Ligging	$\dot{Q}_T + \dot{Q}_V$ in [J/s]	M_o	\dot{Q}_{HL} in [J/s]
Traphal 1	oost	315,22	0,025	323,10
Kleedruimte 1	oost	1468,62	0,025	1505,34
Kantine	oost	1450,24	0,025	1486,49
Traphal 2	noord	3206,14	0,05	3366,44
Vergaderzaal	oost	2272,49	0,025	2329,30
Kleedruimte 2	oost	1722,46	0,025	1765,52
Loods	noord	44622,30	0,05	46853,42
Laad- en loszone	noord	15591,88	0,05	16371,47

4.3 Installatie dimensioneren

De vrijgekomen elektrische energie van de stroomaggregaten zal via elektrische verwarmingsweerstand het water in buffervaten verwarmen. Het volume van de buffervaten is afhankelijk van de energie die de stroomaggregaten kunnen leveren. Het stroomaggregaat met een nominaal actief vermogen van 480 kW, dit komt overeen met een schijnbaar vermogen van 600 kVA, is de grootste die getest wordt in de testruimte. Aan de hand van dit stroomaggregaat zal het volume van de buffervaten berekend worden. Daarvoor moet eerst de totale vrijgekomen energie berekend worden. Dat is afhankelijk van de test. De stroomaggregaten worden belast op 50, 100, 110 en 50 % van het nominale vermogen respectievelijk bij een tijdsduur van 20, 60, 20 en 20 minuten. De vrijgekomen energie wordt berekend met formule (4.7) met de gegevens die in onderstaande tabel (zie Tabel 8) worden weergegeven. Daaruit kan er geconcludeerd worden dat het stroomaggregaat een totaal energie van $2,94 \cdot 10^6$ kJ levert tijdens de test. Om deze uitkomst te bekomen wordt de som genomen van de vrijgekomen energie. Aangezien dat er maar een paar stroomaggregaten van 600 kVA gemaakt worden per jaar kan er gekozen worden om niet alle vrijgekomen energie op te slaan. Daardoor kan er een kleiner buffervat gebruikt worden, wat ook de prijs drukt [42].

Tabel 8: Gegevens test stroomaggregaat 600 kVA

Testduur in s	Belasting in %	Q in kJ
1200	50	2,88E+05
3600	100	1,73E+06
1200	110	6,34E+05
1200	50	2,88E+05

$$Q = \dot{Q} \cdot t \quad (4.7)$$

Waarbij:

Q = warmte in J

\dot{Q} = warmtestroom in J/s

t = tijd in seconde [42]

Voor het berekenen van de wateropslag wordt volgende formule (4.8) gebruikt. De min. temperatuur van het water in het buffervat bedraagt 50 °C en de max. 90 °C. De soortelijke warmte en massadichtheid van het water bedragen respectievelijk 4186 J/(kg·K) en 1000 kg/m³. De energie die

opgeslagen moet worden bedraagt $2,94 \cdot 10^6$ kJ. Dat resulteert in een tankinhoud van $17,54 \text{ m}^3$ [38] [43].

$$V = \frac{Q}{\rho \cdot c \cdot (T_2 - T_1)} \quad (4.8)$$

Waarbij:

V = volume in m^3

ρ = massadichtheid in kg/m^3

c = soortelijke warmte in $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

T = temperatuur in K [38]

In onderstaande tabel (zie Tabel 9) worden de gebruikte gegevens weergegeven om het volume van het buffervat te berekenen [38] [43].

Tabel 9: Volume buffervat [38] [43]

ρ	1000	kg/m^3
Q	2,94E+09	J
c_{water}	4186	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
T_1	50	$[\text{°C}]$
T_2	90	$[\text{°C}]$
V	17,54	m^3

Om de pompen te kiezen moet de drukval en het nodige debiet van de volledige installatie berekend worden.

Eerst worden de drukvallen over de afzonderlijke leidingen van de vloerverwarmingsbuizen bepaald. Dat wordt gedaan door grafieken af te lezen, die verkregen zijn uit de datasheets van de fabrikant. Om deze grafieken af te lezen moet het massadebiet van elke kring apart berekend worden. Dat wordt gedaan via onderstaande formule (4.9) [43]. De locatie en aantal kringen per ruimte is terug te vinden in de bijlage op pagina 65.

$$\dot{m} = \frac{(\dot{Q}_{\text{HL,ber}} + \dot{Q}_V)}{1,163 \cdot (T_V - T_R)} \quad (4.9)$$

Waarbij:

\dot{m} = massadebiet in kg/h

$\dot{Q}_{\text{HL,ber}}$ = warmtestroom in J/s (zie Tabel 7)

\dot{Q}_V = warmteverlies in J/s

T_V = aanvoertemperatuur water in K

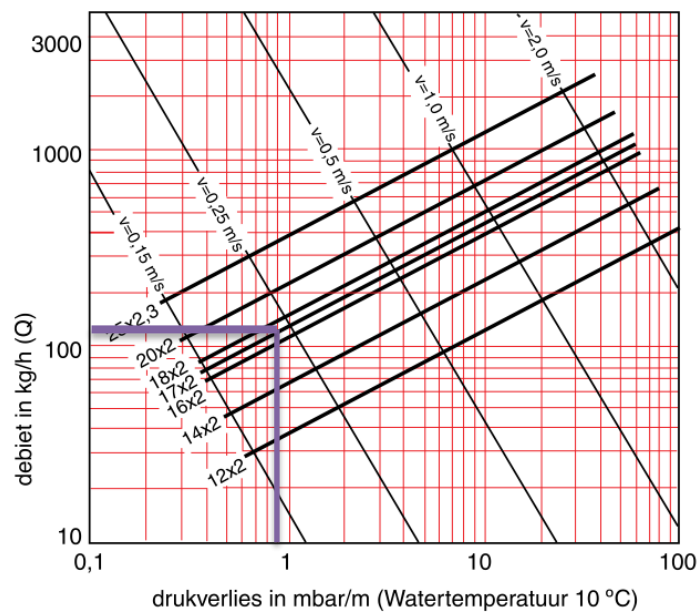
T_R = retourtemperatuur water in K [43]

In de onderstaande tabel (zie Tabel 10) wordt het massadebiet per kring weergegeven. Met deze gegevens kan de drukval per kring bepaald worden. Deze berekeningen zijn terug te vinden in de bijlage op pagina 95.

Tabel 10: Massadebiet per kring

$\dot{m}_{\text{trap1},1\text{kring}}$	38,20	[kg/h]
$\dot{m}_{\text{kleet1},1\text{kring}}$	88,99	[kg/h]
$\dot{m}_{\text{kant},1\text{kring}}$	43,94	[kg/h]
$\dot{m}_{\text{trap2},1\text{kring}}$	132,67	[kg/h]
$\dot{m}_{\text{verg},1\text{kring}}$	55,08	[kg/h]
$\dot{m}_{\text{kleet2},1\text{kring}}$	104,37	[kg/h]
$\dot{m}_{\text{maga},1\text{kring}}$	124,58	[kg/h]

Om de drukval van één kring van traphal twee te bepalen zal in de grafiek (zie Figuur 31) op de verticale as een massadebiet van 132,67 kg/h uitgezet worden. De gebruikte type buis van de vloerverwarming is 17x2. Daaruit volgt dat de drukval per meter over één leiding gelijk is aan 0,9 mbar/m. Aangezien dat elke kring van zowel het bureel als het magazijn een lengte moet hebben van 100 m wordt de verkregen drukval per meter nog vermenigvuldigd met 100 m. Dus de drukval van één kring van traphal twee bedraagt 90 mbar. De grafieken van de andere ruimtes bevinden zich in de bijlage op pagina 97 [43].



Figuur 31: Drukverlies één kring traphal twee [43]

De resultaten van de drukval per meter per kring van elke ruimte wordt in onderstaande tabel (zie Tabel 11) weergegeven. De totale drukval van één kring van elke ruimte wordt weergegeven in Tabel 12.

Tabel 11: Drukval per meter per kring van elke ruimte [43]

$\Delta p_{\text{trap1,1kring/m}}$	0,12	[mbar/m]
$\Delta p_{\text{kleet1,1kring/m}}$	0,4	[mbar/m]
$\Delta p_{\text{kant,1kring/m}}$	0,12	[mbar/m]
$\Delta p_{\text{trap2,1kring/m}}$	0,9	[mbar/m]
$\Delta p_{\text{verg,1kring/m}}$	0,2	[mbar/m]
$\Delta p_{\text{kleet2,1kring/m}}$	0,8	[mbar/m]
$\Delta p_{\text{maga,1kring/m}}$	0,32	[mbar/m]

Tabel 12: Drukval van één kring van elke ruimte

$\Delta p_{\text{trap1,1kring}}$	12	[mbar]
$\Delta p_{\text{kleet1,1kring}}$	40	[mbar]
$\Delta p_{\text{kant,1kring}}$	12	[mbar]
$\Delta p_{\text{trap2,1kring}}$	90	[mbar]
$\Delta p_{\text{verg,1kring}}$	20	[mbar]
$\Delta p_{\text{kleet2,1kring}}$	80	[mbar]
$\Delta p_{\text{maga,1kring}}$	32	[mbar]

In de onderstaande tabel (zie Tabel 13) worden het aantal kringen per ruimte weergegeven.

Tabel 13: Aantal kringen per ruimte

$\#k_{\text{ringen}}_{\text{trap1}}$	1
$\#k_{\text{ringen}}_{\text{trap2}}$	3
$\#k_{\text{ringen}}_{\text{kleet1}}$	2
$\#k_{\text{ringen}}_{\text{kleet2}}$	1
$\#k_{\text{ringen}}_{\text{kant}}$	4
$\#k_{\text{ringen}}_{\text{verg}}$	5
$\#k_{\text{ringen}}_{\text{maga}}$	60

Elke hoofdkring bestaat uit drie afsluitkranen, één driewegkraan, één pomp, één terugslagklep en één collector (zie Figuur 28). Over deze componenten moet de drukval bepaald worden. Om de drukval over de kraan en de terugslagklep te berekenen wordt de onderstaande formule (4.10) toegepast [19].

$$p_w = \xi \cdot \left(\rho \cdot \frac{v^2}{2} \right) \quad (4.10)$$

Waarbij:

ξ = verliescoëfficiënt in [-]

ρ = massadichtheid in kg/m³

v = vloeistofsnelheid in m/s (zie bijlage pagina 99)

p_w = drukverlies in Pa [44]

In de onderstaande tabel (zie Tabel 14) zijn de resultaten van de drukval van één kraan en terugslagklep voor de verschillende ruimtes weergegeven. De uitwerkingen van deze berekeningen zijn terug te vinden in de bijlage op pagina 99 [45].

Tabel 14: Drukval van één kraan en terugslagklep

$p_{wt,bureel, gelijk}$	487,84	[Pa]
$p_{wk,bureel, gelijk}$	73,18	[Pa]
$p_{wk,bureel, 1ste, ver}$	27,49	[Pa]
$p_{wt,bureel, 1ste, ver}$	183,24	[Pa]
$p_{wk,maga1}$	66,43	[Pa]
$p_{wt,maga1}$	221,45	[Pa]
$p_{wk,maga2}$	66,43	[Pa]
$p_{wt,maga2}$	221,45	[Pa]
$p_{wk,hoofd}$	213,68	[Pa]
$p_{wt,hoofd}$	1367,52	[Pa]

De drukval over de collectoren moet bepaald worden. Dat wordt gedaan via grafieken die verkregen zijn van de fabrikant. Om deze grafieken te kunnen aflezen moet het volumedebiet per kring gekend zijn en ook de Kv- / Kvs-waarde. De Kv-waarde is het volumedebiet waarbij een drukval van één bar over de klep komt te staan. De Kvs-waarde geeft het debiet aan bij een bepaalde klepstand. De Kv- / Kvs-waarde per kring kan bepaald worden via onderstaande formule (4.11) [46] [47].

$$f_v = \frac{Q_v}{K_{VS} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_k}{\rho}}} \quad (4.11)$$

Waarbij:

Q_v = volumedebiet in m³/s

K_{VS} = regelventielcoëfficiënt in m³/s

Δp_k = drukverschil in Pa

ρ = massadichtheid in kg/h

f_v = Kv- / Kvs-waarde [47]

De uitkomsten van de Kv- / Kvs-waarde per kring zijn in onderstaande tabel (zie Tabel 15) weergegeven. De uitwerking van deze berekeningen zijn terug te vinden in de bijlage op pagina 101.

Tabel 15: Kv- / Kvs-waarde per kring per ruimte

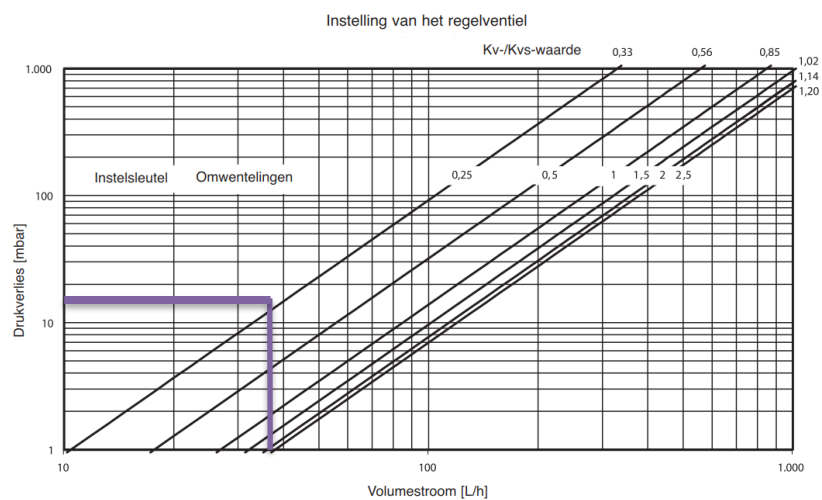
$f_{V,trap1,1kring}$	0,32	[%]
$f_{V,kleed1,1kring}$	0,74	[%]
$f_{V,kant,1kring}$	0,37	[%]
$f_{V,trap2,1kring}$	1,11	[%]
$f_{V,verg,1kring}$	0,46	[%]
$f_{V,kleed2,1kring}$	0,87	[%]
$f_{V,maga,1kring}$	1,04	[%]

De volumestromen van de verschillende ruimtes per kring zijn in de onderstaande tabel (zie Tabel 16) weergegeven.

Tabel 16: Volumestroom per kring per ruimte

$Q_{V,trap1,1kring}$	38,20	[l/h]
$Q_{V,kleed1,1kring}$	88,99	[l/h]
$Q_{V,kant,1kring}$	43,94	[l/h]
$Q_{V,trap2,1kring}$	132,67	[l/h]
$Q_{V,verg,1kring}$	55,08	[l/h]
$Q_{V,kleed2,1kring}$	104,37	[l/h]
$Q_{V,maga,1kring}$	124,58	[l/h]

Met de bovenstaande gegevens kunnen de drukvallen over de inregelkleppen van de collector per kring bepaald worden. In de onderstaande grafiek (zie Figuur 32) wordt de drukval over de inregelkleppen van de collector van de traphal één bepaald. Deze drukval bedraagt 18 mbar.



Figuur 32: Drukverlies regelventiel collector traphal één van één kring [48]

In onderstaande tabel (zie Tabel 17) worden de drukvallen over de inregelkleppen van de collector van de verschillende ruimtes weergegeven. Het bepalen van deze waardes is terug te vinden in de bijlage op pagina 102.

Tabel 17: Drukvalen over de inregelkleppen van de collector [48]

$\Delta p_{c,trap1,1kring}$	18	[mbar]
$\Delta p_{c,kleed1,1kring}$	12	[mbar]
$\Delta p_{c,kant,1kring}$	13	[mbar]
$\Delta p_{c,trap2,1kring}$	14	[mbar]
$\Delta p_{c,verg,1kring}$	18	[mbar]
$\Delta p_{c,kleed2,1kring}$	15	[mbar]
$\Delta p_{c,maga,1kring}$	20	[mbar]

De drukval over de driewegkranen wordt bepaald aan de hand van grafieken die terug te vinden zijn in de bijlage op pagina 103. In de onderstaande tabel (zie Tabel 18) wordt de drukval over de verschillende driewegkranen weergegeven [49] [50].

Tabel 18: Drukval over driewegkleppen [49] [50]

$p_{w,3k,bureel,gelijk}$	3920	[Pa]
$p_{w,3k,bureel,1ste}$	2940	[Pa]
$p_{w,3k,maga1}$	1600	[Pa]
$p_{w,3k,maga2}$	1600	[Pa]

De drukval over de evenwichtsfles, ontluchter en vuilafscheider worden in onderstaande tabel (zie Tabel 19) weergegeven. Deze drukvallen worden bepaald aan de hand van grafieken die te vinden zijn in de bijlage op pagina 104 [51] [52].

Tabel 19: Drukval over de evenwichtsfles, ontluchter en vuilafscheider [51] [52]

$p_{w,evenwichtsfles}$	490	[Pa]
$p_{w,ontluchter,vuil}$	500	[Pa]

De leidingen zelf zorgen voor een drukval. Deze moeten ook in rekening gebracht worden. Dat wordt berekend met onderstaande formule (4.12) [44].

$$p_w = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \left(\rho \cdot \frac{v^2}{2} \right) \quad (4.12)$$

Waarbij:

- λ = wrijvingscoëfficiënt in [-]
- L = lengte van de leiding in meter
- D = binnendiameter leiding in meter
- ρ = massadichtheid in kg/m^3
- v = vloeistofsnelheid in m/s [44]

In de onderstaande tabel (zie Tabel 20) worden de resultaten van de drukverliezen in de leidingen weergegeven. De berekening zijn terug te vinden in de bijlage op pagina 105.

Tabel 20: Leidingverliezen

$p_{w,aanvoer,bureel}$	10296,04	[Pa]
$p_{w,afvoer,bureel}$	10296,04	[Pa]
$p_{w,aanvoer,maga}$	245,86	[Pa]
$p_{w,afvoer,maga}$	245,86	[Pa]
$p_{w,hoofd}$	365,50	[Pa]

Om de pompen te kiezen moet de totale drukval per hoofdkring berekend worden. Deze resultaten zijn in onderstaande tabel (zie Tabel 21) weergegeven.

Tabel 21: Drukval per hoofdkring

$p_{w,tot,bureel,gelijk}$	25250,23	[Pa]
$p_{w,tot,bureel,1ste}$	22974,25	[Pa]
$p_{w,tot,maga1}$	7154,32	[Pa]
$p_{w,tot,maga2}$	7154,32	[Pa]
$p_{w,hoofd}$	15006,51	[Pa]

Deze druk moet omgezet worden in een hoogte en dat wordt gedaan met formule (4.13) [44].

$$H = \frac{p_w}{\rho \cdot g} \quad (4.13)$$

Waarbij:

p_w = drukval in Pa

ρ = massadichtheid in kg/m^3

g = zwaarteveldsterkte in m^2/s

H = hoogte in meter [44]

In de onderstaande tabel (zie Tabel 22) worden de resultaten van de nodige opvoerhoogte van de verschillende pompen weergegeven.

Tabel 22: Opvoerhoogte

$H_{tot,bureel,gelijk}$	2,57	[m]
$H_{tot,bureel,1ste}$	1,32	[m]
$H_{tot,maga1}$	0,73	[m]
$H_{tot,maga2}$	0,73	[m]
H_{hoofd}	1,53	[m]

In de onderstaande tabel (zie Tabel 23) worden de resultaten van het nodige debiet van de verschillende pompen weergegeven. Om het volumedebiet van bijvoorbeeld het bureel gelijkvloers te berekenen wordt het volumedebiet van de kringen die zich gelijkvloers bevinden vermenigvuldigd met het overeenkomstige aantal kringen en deze waarden worden samengeteld.

Tabel 23: Benodigde debiet

$Q_{V,bureel, gelijk}$	0,79	[m ³ /h]
$Q_{V,bureel, 1st, ver}$	0,48	[m ³ /h]
$Q_{V,maga1}$	3,74	[m ³ /h]
$Q_{V,maga2}$	3,74	[m ³ /h]
$Q_{V,hoofd}$	8,75	[m ³ /h]

Het werkingpunt van de verschillende pompen is terug te vinden in de bijlage op pagina 107.

Om het expansievat te bepalen moet het totale volume van de installatie berekend worden. In onderstaande tabel (zie Tabel 24) wordt het volume weergegeven [53].

Tabel 24: Totaal volume installatie

volume leidingen	1,4188	[m ³]
volume tank	17,54	[m ³]
totaal volume	18,96	[m ³]

Bij het vullen van de buffertank heeft het water een temperatuur van 10 °C en deze kan oplopen tot 90 °C. Daardoor is er een volume uitzetting van 3,6 %. De temperatuur van het water in de leidingen van de vloerverwarming bedraagt 50 °C. Daardoor is er een volume uitzetting van 1,2 % [53].

Tabel 25: Volume toename installatie

volume toename leidingen	0,017	[m ³]
volume toename tank	0,624	[m ³]
totale toename volume	0,641	[m ³]

Om het nuttige effect van het expansievat te berekenen wordt formule (4.14) toegepast. Waarbij de einddruk de maximaal toelaatbare druk van de installatie ter plaatse van het expansievat is. Deze bedraagt 3 bar. De voordruk is de statische druk en deze bedraagt 0,5 bar. Het nuttig effect van het expansievat is 62,5 % [53].

$$\text{nuttig effect} = \frac{(\text{einddruk} + 1) - (\text{voordruk} + 1)}{(\text{einddruk} + 1)} \quad (4.14)$$

Dan kan het benodigde bruto-inhoud van de expansievat berekend worden via formule (4.15).

$$\text{bruto}_{\text{inhoud}} = \frac{\text{expansievolume} \cdot 1,25}{\text{nuttig effect}} \quad (4.15)$$

De inhoud van het expansievat bedraagt 1,282 m³.

In onderstaande Tabel 26 worden de geselecteerde componenten weergegeven.

Tabel 26: Geselecteerde componenten

Aantal	Beschrijving	Merk	Type
2	pomp	Grundfos	ALPHA1
3	pomp	Grundfos	UPS Series 100
2	driewegklep	Honeywell	V4073A
2	driewegklep	Danfoss	VF3
2	expansievat	Flamco	Flexcon 800
2	terugslagklep	York	York 4/4" VV
2	terugslagklep	Desco	TYPE 402 PN10/16 DN 50
2	Veiligheidsventielen	Flamco	Prescor 1 1/4
1	Evenwichtsfles	Flamco	FlexBalance F 65

5 Besluit

De vrijgekomen elektrische energie bij het testen van de stroomaggregaten zal via elektrische verwarmingselementen in de buffervaten omgezet worden in warmte. Deze methode van omzetten van energie in warmte is gekozen omdat de belasting van de stroomaggregaten op een eenvoudige manier geregeld kan worden. Het gemiddeld elektrisch vermogen van de stroomaggregaten die getest worden in de testruimte bedraagt 120 kW. De elektrische energie die dan vrijkomt bedraagt $7,35 \cdot 10^5$ kJ. Het totale warmteverlies over een periode van twee dagen van het gebouw EP5 bij een buitentemperatuur van min acht graden Celsius bedraagt $1,30 \cdot 10^7$ kJ. Daaruit kan besloten worden dat er nog een extra verwarmingsbron nodig is om de gewenste temperaturen te bereiken bij een buitentemperatuur van min acht graden Celsius. Er is wel voldoende energie om het bureel te verwarmen. In dit geval kan de loods niet verwarmd worden met de vrijgekomen energie van de stroomaggregaten.

Bibliografie

- [1] S. Tom, Opstellen van een onderhoudsplan voor de waterbehandeling, Bree, 2015-2016.
- [2] Europower Generators BVBA., „Segmentatie~Chemiebedrijven,” 25 maart 2018. [Online]. Available: https://www.europowergenerators.com/index.php?option=com_content&view=article&id=360&Itemid=539&lang=nl&cat=559. [Geopend 25 maart 2018].
- [3] F. Siers, Methodisch ontwerpen, Groningen: Noordhoff Uitgevers Groningen/Houten, 2004.
- [4] Daikin Industries Limited, „Een warmtepomp kiezen: waarop moet u letten?,” [Online]. Available: https://www.daikin.be/nl_be/warmtepompen.html. [Geopend 6 April 2018].
- [5] ELECTRO-KLIMA, „KLIMAATREGELING,” [Online]. Available: <http://www.electro-klima.be/?menu=klimaatregeling&submenu=warmtepompen>. [Geopend 4 April 2018].
- [6] CirculAir, „Warmtepomp,” 2017. [Online]. Available: <http://www.circulair.be/cv/warmtepomp/>. [Geopend 4 April 2018].
- [7] centrale verwarming cv, „Warmtepomp info: prijs, rendement & subsidies 2018,” [Online]. Available: <https://www.centraleverwarmingcv.be/warmtepomp>. [Geopend 6 April 2018].
- [8] centrale verwarming cv, „Water-water warmtepomp,” [Online]. Available: <https://www.centraleverwarmingcv.be/warmtepomp/water-water-warmtepomp>. [Geopend 4 April 2018].
- [9] centrale verwarming cv, „Grond-water warmtepomp,” [Online]. Available: <https://www.centraleverwarmingcv.be/warmtepomp/grond-water-warmtepomp>. [Geopend 4 April 2018].
- [10] centrale verwarming cv, „Lucht-water warmtepomp,” [Online]. Available: <https://www.centraleverwarmingcv.be/warmtepomp/warmtepomp-lucht-water>. [Geopend 6 April 2018].
- [11] website@aardwarmtepompen, „Lucht-water warmtepomp in Lier,” Geoservices BVBA, 2017. [Online]. Available: <http://www.aardwarmtepompen.be/lucht-water-warmtepomp-in-lier/>. [Geopend 6 April 2018].
- [12] centrale verwarming cv, „Lucht-lucht warmtepomp: werking en prijzen,” [Online]. Available: <https://www.centraleverwarmingcv.be/warmtepomp/warmtepomp-lucht-lucht>. [Geopend 6 April 2018].
- [13] WATTCO, „Inline Heaters,” 2018. [Online]. Available: https://www.wattco.com/product_category/inline-heaters/. [Geopend 6 April 2018].
- [14] EUROPAGES, „Circulation heaters,” [Online]. Available: <https://www.europages.co.uk/Circulation-heaters/WATTCO-INDUSTRIAL-HEATERS/cpid-5339738.html>. [Geopend 6 April 2018].
- [15] Inoxcon B.V., „Smart E 130 - 300,” [Online]. Available: <http://www.inoxcon.nl/smart-e-130-300>. [Geopend 6 April 2018].
- [16] DERNORD, „DC 48 V 1500 W U Type DC Tubular Boiler Element Insteekbatterij Buis met 1 1/4 "BSP messing Draad,” DERNORD, 2018. [Online]. Available: <https://nl.aliexpress.com/item/DC-48V-1500W-U-Type-Low-Voltage-Solar-Water-Heater-Element-Immersion-Heater-Element-with-1/32551271909.html>. [Geopend 6 April 2018].
- [17] Gebr. KEMPS & Co, „Buffervaten,” 2 December 2017. [Online]. Available: http://www.pelletketels-pelletkachels.be/contents/nl/d291_buffervaten.html. [Geopend 6 April 2018].

- [18] DaReCo vof, „Vuilafscheider cv,” 2018. [Online]. Available: <https://www.klusbeter.nl/centrale-verwarming/cv-ketel/vuilafscheider-cv/>. [Geopend 3 April 2018].
- [19] P. Adriaenssens en P. Uten, Warmteproductie: installatietoebereiden en plaatsingsvoorschriften, Brussel: Fonds voor vakopleiding in de bouwnijverheid (FVB), 2007.
- [20] BONFIX B.V., „Vuilvanger,” 3 April 2018. [Online]. Available: <https://www.bonfix.nl/nl/productaanbod/137/messing-en-verchromde-draadfittingen/2069/vuilvanger>. [Geopend 3 April 2018].
- [21] Caleffi International NV, „Vuilafscheiders,” 2015. [Online]. Available: https://www.caleffi.com/sites/default/files/file/01137_nl_0.pdf. [Geopend 3 April 2018].
- [22] Flamco, „Prescor,” 2018. [Online]. Available: <https://flamcogroup.com/be-nl/catalog/expansiesystemen-en-toebereiden/toebereiden-voor-verwarmingsinstallaties/veiligheidsventielen/prescor/groups/g+c+p+a+view?show=Extra+documentatie>. [Geopend 3 April 2018].
- [23] J. Schietecat, „TC VERWARMING EN KLIMAATREGELING,” *WTCB-Contact*, vol. 7, nr. 26, p. 16, 2010.
- [24] Flamco, „Expansion Vessels,” Flamco, 2013. [Online]. Available: https://flamcogroup.com/media/files/documentation/doc_exp_h1_2013.pdf. [Geopend 8 April 2018].
- [25] Watts Industries Belgium nv, „Watts onderdrukventiel buitendraad 3/4"X20mm,” [Online]. Available: <http://www.badkamerdecoratie.nl/product/Watts-onderdrukventiel-buitendraad-34X20mm.html>. [Geopend 6 April 2018].
- [26] Maliepaard Loodgieters B.V., „Verwarming ontluichten,” 2016. [Online]. Available: <http://www.maliepaard.nl/ontluichten/>. [Geopend 7 April 2018].
- [27] Flamco, „Flexvent,” 2018. [Online]. Available: <https://flamcogroup.com/be-nl/catalog/expansiesystemen-en-toebereiden/ontluchting-en-vuilafscheiding/flexvent-vlotterontluchters/flexvent/groups/g+c+p+a+view>. [Geopend 7 April 2018].
- [28] Flamco, „Flamco LTA luchtpotten,” 2018. [Online]. Available: <https://flamcogroup.com/be-nl/catalog/expansiesystemen-en-toebereiden/ontluchting-en-vuilafscheiding/flamco-luchtpotten/flamco-lta-luchtpotten/groups/g+c+p+a+view>. [Geopend 7 April 2018].
- [29] Flamco, „Flamcovent V,” 2018. [Online]. Available: <https://flamcogroup.com/be-nl/catalog/expansiesystemen-en-toebereiden/ontluchting-en-vuilafscheiding/luchtafscheiders/flamcovent-v/groups/g+c+p+a+view>. [Geopend 7 April 2018].
- [30] Flamco, „ENA 7 - 30,” 2018. [Online]. Available: <https://flamcogroup.com/be-nl/catalog/expansiesystemen-en-toebereiden/ontluchting-en-vuilafscheiding/ena-ontgassings-en-bijvulautomaten/ena-7-30/groups/g+c+p+a+view>. [Geopend 7 April 2018].
- [31] Packo Pumps, „Pompseries IFF & MFF,” 2018. [Online]. Available: <http://www.packopumps.com/nl/producten/aanbod-soort-pompen/algemene-industriele-pompen/iff-mff>. [Geopend 8 April 2018].
- [32] Klinger, „GIETIJZEREN TERUGSLAGKLEP, TYPE KP-5512,” [Online]. Available: <http://www.klinger.nl/nl/catalog/appendages/terugslagkleppen/terugslagkleppen-met-flens/flensaansluiting-pn10-16>. [Geopend 8 April 2018].
- [33] Ebor, „SXE kogel terugslagklep,” 2017. [Online]. Available: <https://ebora.nl/sxe-kogel-terugslagklep.html>. [Geopend 8 April 2018].

- [34] NKI Leidingssystemen Neede B.V., „Terugslagklep veerbelast [PP],” 2018. [Online]. Available: https://www.nkineede.nl/catalogus/terugslagklep-veerbelast/product_3067. [Geopend 8 April 2018].
- [35] exportmatch, „Three Way Ball Valves,” [Online]. Available: <http://www.exportmatch.net/ex/3767/three-way-ball-valves.php.htm>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [36] Caleffi, „Evenwichtsfles,” [Online]. Available: https://www.caleffi.com/sites/default/files/file/01076_nl.pdf. [Geopend 20 Mei 2018].
- [37] Caleffi, „548 Evenwichtsfles. Met schroefdraadaansluitingen,” 2018. [Online]. Available: <https://www.caleffi.com/nederland/nl/catalogue/evenwichtsfles-met-schroefdraadaansluitingen-548006>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [38] F. Despierre, J. Rouseu en P. Uten, Warmteverlies berekenen theoretische uitwerking, Brussel: Fonds voor vakopleiding in de bouwnijverheid (FVB), 2013.
- [39] K. Somers, „RAPPORT EPB-VERSLAGGEVING,” Studio Somers bvba , Sint-Truiden , 2012.
- [40] BELGISCH STAATSBLAD, „TRANSMISSIE REFERENTIE DOCUMENT,” 8 December 2010. [Online]. Available: <http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/epb/doc/transmissiereferentiedocument.pdf>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [41] W. Ilsbroeckx, „As Built Dossier – Europower Genetor bvba,” Ilsbroeckx ,Wim , Sint Truiden.
- [42] F. Rogiers, Warmteoverdracht, Hasselt: UHasselt, 2017.
- [43] Radson, „Vloerverwarming technische info,” Maart 2014. [Online]. Available: <http://www.radson.com/docs/RADSON-VVW-Technische-Info-NL-BE-03-2014.pdf>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [44] M. Borremans, Pompen & Compressoren, Brussel: Academia Press, 2010.
- [45] Kaeser compressoren, „Berekening van de drukval,” [Online]. Available: http://be.fl.kaeser.com/Online_Services/Toolbox/Pressure_drop/default.asp. [Geopend 20 Mei 2018].
- [46] CALEFFI, „Inregelen: balanceren van een cv-installatie,” 2014. [Online]. Available: https://www.caleffi.com/sites/default/files/static_page_attachments/caleffi_academy_inregelen_ph.pdf. [Geopend 27 Mei 2018].
- [47] Tameson, „Kv-waarde calculator,” [Online]. Available: <https://magneetventielshop.nl/kv-waarde-calculator.html>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [48] SCHÜTZ, „Vloerverwarmingsverdeler I.6.2. Vloerverwarmingsverdeler,” [Online]. Available: <http://docplayer.nl/14049916-Vloerverwarmingsverdeler-i-6-2-vloerverwarmingsverdeler.html>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [49] Honeywell, „V4073A Motorised Mid-Position Valve,” [Online]. Available: <https://customer.honeywell.com/resources/techlit/TechLitDocuments/95C-00000s/95C-10820.pdf>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [50] Danfoss, „Data sheet Seated valves (PN 16),” [Online]. Available: http://heating.danfoss.com/PCMPDF/VDLHN102_VF2-3.pdf. [Geopend 20 Mei 2018].
- [51] Flamco, „3. Toebehoren voor koel-, verwarmings- en solarinstallaties,” 2015. [Online]. Available: https://flamcogroup.com/media/files/documentation/doc_be-vls_h3_2015.pdf. [Geopend 20 Mei 2018].
- [52] Flamco, „8. Ontluchters en vuilafscheiders,” 2015. [Online]. Available: https://flamcogroup.com/media/files/documentation/doc_be-vls_h8_2015.pdf. [Geopend 20 Mei 2018].

- [53] Flamco, „1. Expansievaten,” 2015. [Online]. Available: https://flamcogroup.com/media/files/documentation/doc_be-vls_h1_2015.pdf. [Geopend 27 Mei 2018].
- [54] Euro-electronics, „VD-installatiedraad,” [Online]. Available: <https://www.euro-electronics.nl/vd-installatiedraad>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [55] ACV, „ACV Smart SL E 130 - 160 - 210 - 240 - 300,” 2016. [Online]. Available: http://www.kreatherm.be/prdt_boiler_acv_smarthe.html. [Geopend 20 Mei 2018].
- [56] Energie-warenhuis, „Warm-te-pomp (de; m; meervoud: warmtepompen),” 2018. [Online]. Available: <https://www.energie-warenhuis.nl/c-3152480/warmtepompen/>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [57] OEG, „OEG horizontaal buffervat 200 liter,” 2018. [Online]. Available: <https://www.oeg.net/nl/horizontaal-buffervat-oeg-hbv200-br-200-liter-zilver-516006308>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [58] Northern Nature Energy, „Hybrid boiler horizontal 500 l,” 2018. [Online]. Available: http://verkkokauppa.nn-energy.fi/catalog/product_info.php/products_id/145/osCsid/09o6q6j6paafmgqftbp0khhkof1. [Geopend 20 Mei 2018].
- [59] Flamco, „Prescomano,” 2018. [Online]. Available: <https://flamcogroup.com/be-nl/catalog/expansiesystemen-en-toebehoren/toebehoren-voor-verwarmingsinstallaties/veiligheidsventielen/prescomano/groups/g+c+p+a+view>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [60] Caleffi, „5020 MINICAL® - Automatische ontlufter,” 2016. [Online]. Available: <https://www.caleffi.com/nederland/nl/catalogue/minicalr-automatische-ontluchter-502030>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [61] Flamco, „Flamcovent Clean Smart S, 10 bar uitvoering,” 2018. [Online]. Available: <https://flamcogroup.com/be-nl/catalog/expansiesystemen-en-toebehoren/ontluchting-en-vuilafscheiding/gecombineerde-lucht-en-vuilafscheiders/flamcovent-clean-smart-s-10-bar-uitvoering/groups/g+c+p+a+view>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [62] ZET-Shop, „Driewegkraan Flexotherm/-Compact Vaillant,” 2018. [Online]. Available: <http://zet-shop.be/verwarming/warmtepompen/driewegkraan-flexotherm-compact-vaillant>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [63] Grundfos, „Grundfos UPS2 25-40/60 130mm 11/2 aansluiting,” 2018. [Online]. Available: <https://www.warmteservice.nl/Verwarming/CV-aansluitmateriaal/Circulatiepomp/Grundfos-UPS2-25-40-60-130mm-11-2-aansluiting/p/47851955>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [64] Grundfos, „ALPHA1 circulator pump - heating, cooling, hot water,” [Online]. Available: <https://www.grundfos.com/products/find-product/alpha1.html>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [65] Grundfos, „UPS,” [Online]. Available: <https://be.grundfos.com/products/find-product/up.html>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [66] Tubi Valves Nederland B.V., „Fig. 77104/02 Messing terugslagklep,” [Online]. Available: <https://www.tubi-valves.nl/messing-terugslagklep-bsp-draad-art.-7710402.html>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [67] GMT International BV, „Terugslagklep 1½M,” 2018. [Online]. Available: <https://www.gmtinternational.nl/terugslagklep-112m/>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [68] vdsc, „Verwarming: Collector Gelijkvloers,” [Online]. Available: http://www.vdsc.be/onzewoning/Verwarming/slides/190_9033.html. [Geopend 20 Mei 2018].

- [69] SariTech, „Saritech,” [Online]. Available: <http://www.saritech.nl/>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [70] Flamco, „Flexcon 110 - 1000,” 2018. [Online]. Available: <https://flamcogroup.com/ex-en/catalog/system-components-for-heating-cooling-and-potable-water-installations/flexcon-expansion-vessels/flexcon/flexcon-110-1000/groups/g+c+p+a+view>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [71] Flamco, „Flexcon M-K/U - internal coating,” 2018. [Online]. Available: <https://flamcogroup.com/ex-en/catalog/system-components-for-heating-cooling-and-potable-water-installations/expansion-automats-and-pressurisation-equipment/flexcon-m-k-u-compressor-expansion-automat/flexcon-m-k-u-internal-coating/groups/g+c+p+a+view>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [72] Flamco, „Single Pump Control,” 2018. [Online]. Available: <https://flamcogroup.com/ex-en/catalog/system-components-for-heating-cooling-and-potable-water-installations/expansion-automats-and-pressurisation-equipment/flamcomat-pump-units/single-pump-control/groups/g+c+p+a+view>. [Geopend 20 Mei 2018].
- [73] K. Somers, „Startverklaring,” Sint-Truiden, 2013.
- [74] The Engineering Toolbox, „Water - Dynamic and Kinematic Viscosity,” [Online]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/water-dynamic-kinematic-viscosity-d_596.html. [Geopend 27 Mei 2018].
- [75] Grundfos, „ALPHA1,” 2018. [Online]. Available: <https://product-selection.grundfos.com/catalogue.product%20families.q%26h%20alpha1.html?custid=GBL&familycode=ALPHA1&flow=0&head=0&lang=NLD&time=1527076629881&qcid=380425219>. [Geopend 23 Mei 2018].
- [76] Grundfos, „UP, UPS Series 100,” [Online]. Available: <https://product-selection.grundfos.com/catalogue.product%20families.q%26h%20up%2C%20ups%20series%20100.html?custid=GBL&familycode=S100FAM&flow=0&head=0&lang=NLD&time=1527079097325&qcid=376955258>. [Geopend 23 Mei 2018].

Bijlage

Bijlage A: Input specificaties.....	63
Bijlage B: Grondplan.....	65
Bijlage C: Morfologisch overzicht.....	67
Bijlage D: Situatieschetsen.....	71
Bijlage E: Warmteweerstand van materialen berekenen.....	75
Bijlage F: Berekenen warmteverliezen.....	81
Bijlage G: Massadebiet per ruimte.....	95
Bijlage H: Drukvalen.....	97
Bijlage I: Circulatiepompen.....	107

Bijlage A: Inputspecificaties

1. Minimum temperatuur verschillende hallen volgens de norm NBN 62-003:
 - trappenhal: 16 °C,
 - badkamer: 24 °C,
 - vergaderzaal: 20 °C,
 - kantine: 20 °C,
 - loods: 16 °C [38].
2. Moet voldoende warmte opslaan voor 2 dagen.
3. Moet automatisch de temperatuur regelen.
4. Buizen voor vloerverwarming:
 - Loods heeft 60 kringen met een lengte van 100 m van het type 20x2;
 - Bureel heeft 16 kringen met een lengte van 100 m type 17x2.
5. Gebouw EP5 (MTS) volgens plan.
6. Maximum afmetingen installatie 50 m².
7. Moet voldoen aan de veiligheidsnormen (ARAB en AREI).
8. Moet voldoen aan machinerichtlijn.
9. De componenten en installatie moeten CE-conform zijn.
10. Voeding 3 ~ 400 V + N van de stroomaggregaten.
11. Aansluiting via Powersafe connectoren.
12. Verwachte levensduur 20 jaar.
13. Maakt gebruik van het elektrisch vermogen van stroomaggregaten van 60 kVA tot 600 kVA.
14. 300 stroomaggregaten worden per jaar geproduceerd.
15. Gemiddeld vermogen van de stroomaggregaten 120 kW.
16. De verwarming zal 8 maanden/jaar in werking zijn.
17. Test procedure (duur/belasting):
 - 20 minuten belasten op 50 % belasting,
 - 60 minuten belasten op 100 % belasting,
 - 20 minuten belasten op 110 % belasting,
 - 20 minuten belasten op 50 % belasting.

Bijlage B: Grondplan

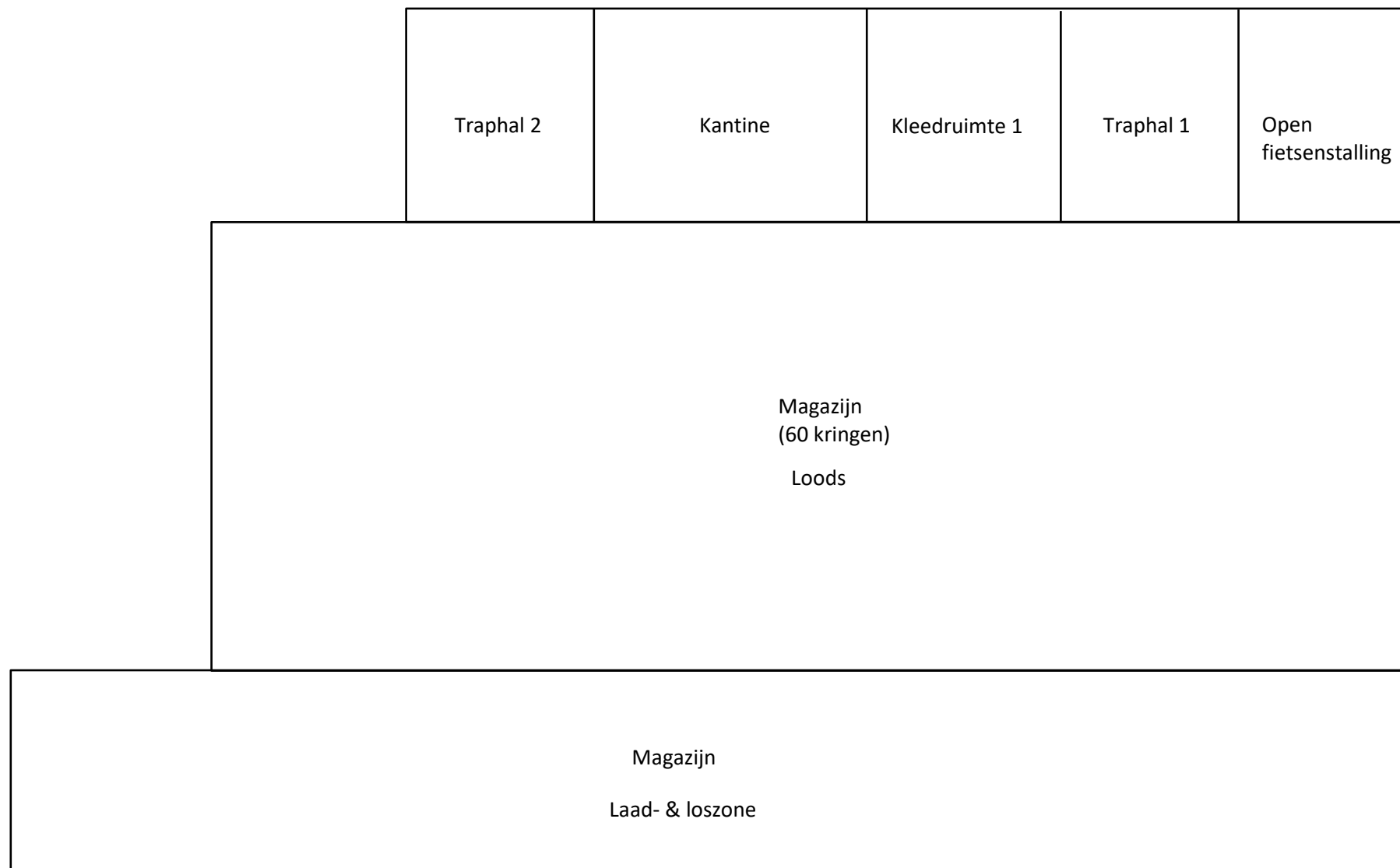
In onderstaande afbeeldingen (zie Figuur 33, Figuur 34 en Figuur 35) worden de verschillende lokalen weergegeven. De afmetingen van de afbeeldingen komen niet overeen met de werkelijke lengtes en breedtes van de ruimtes.



Figuur 33: Bureel Gelijkvloers



Figuur 34: Bureel Eerste verdieping



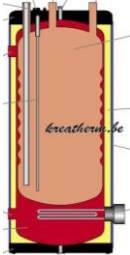













Figuur 35: Grondplan EP5








Bijlage C: Morfologisch overzicht

In onderstaande tabel (zie Tabel 27) wordt het morfologisch overzicht weergegeven.

Tabel 27: Morfologisch overzicht

Morfologisch overzicht				
Deelfunctie	Werkwijze			
Transporteren				
	<i>Figuur 36: Elektrische kabel [54]</i>			
Omzetten energie				
	<i>Figuur 37: Elektrische doorstroomverwarmer [14]</i>	<i>Figuur 38: Elektrische boiler [55]</i>	<i>Figuur 39: Lucht-waterwarmtepomp [56]</i>	
Bufferen				
	<i>Figuur 40: Verticale buffer zonder spiralen [17]</i>	<i>Figuur 41: Verticale buffer met spiralen [17]</i>	<i>Figuur 42: Horizontale buffer zonder spiralen [57]</i>	<i>Figuur 43: Horizontale buffer met spiralen [58]</i>

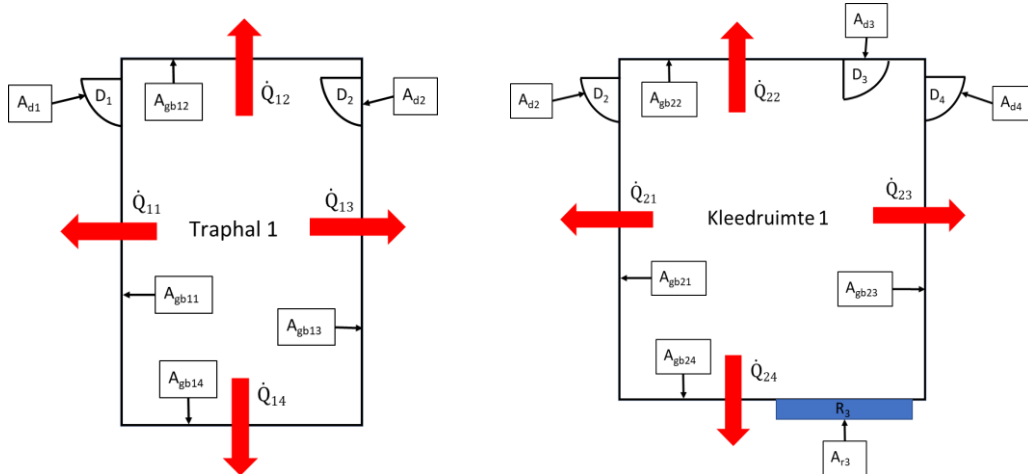
Beveiligen overdruk				
	<i>Figuur 44: Veiligheidsventiel [22]</i>	<i>Figuur 45: Veiligheidsventiel met manometer [59]</i>		
Ontluchten				
	<i>Figuur 46: Vlotterontluchter [60]</i>	<i>Figuur 47: Microbellen luchtafscheider [61]</i>	<i>Figuur 48: Drukstapontgasser [30]</i>	
Temperatuur regelen				
	<i>Figuur 49: Driewegkraan [62]</i>			

Transporteren				
	<i>Figuur 50: Circulatiepomp 3 snelheden [63]</i>	<i>Figuur 51: Circulatiepomp variabele snelheid [64]</i>	<i>Figuur 52: Circulatiepomp 3 snelheden parallel [65]</i>	
Beveiliging terugslag				
	<i>Figuur 53: Terugslagklep met scharnierende klep [66]</i>	<i>Figuur 54: Kogel terugslagklep [33]</i>	<i>Figuur 55: Terugslagklep met veerbelasting [67]</i>	
Verdelen				
	<i>Figuur 56: Collector [68]</i>			

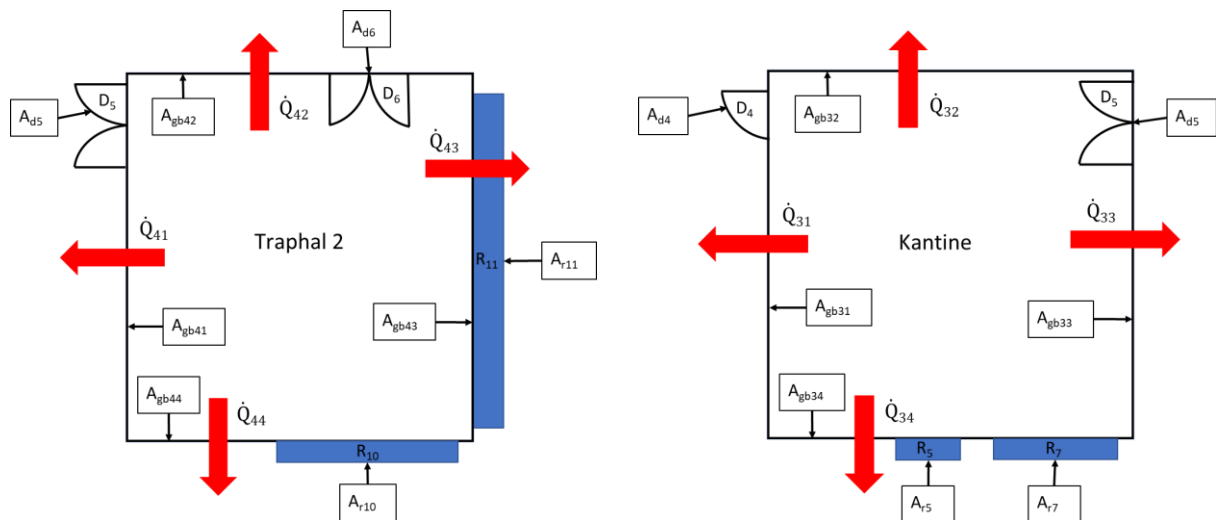
<p>Omzetten energie</p>				
	<p><i>Figuur 57: Vloerverwarming [69]</i></p>			
<p>Volume veranderingen opvangen</p>				
	<p><i>Figuur 58: Variabele druk: Expansievat met membraan [70]</i></p>	<p><i>Figuur 59: Expansievat constante druk: Expansievat met compressor [71]</i></p>	<p><i>Figuur 60: Expansievat constante druk: Expansievat met pomp [72]</i></p>	
<p>Filteren</p>				
	<p><i>Figuur 61: Filter [20]</i></p>	<p><i>Figuur 62: Vuilafscheider [21]</i></p>		

Bijlage D: Situatieschetsen

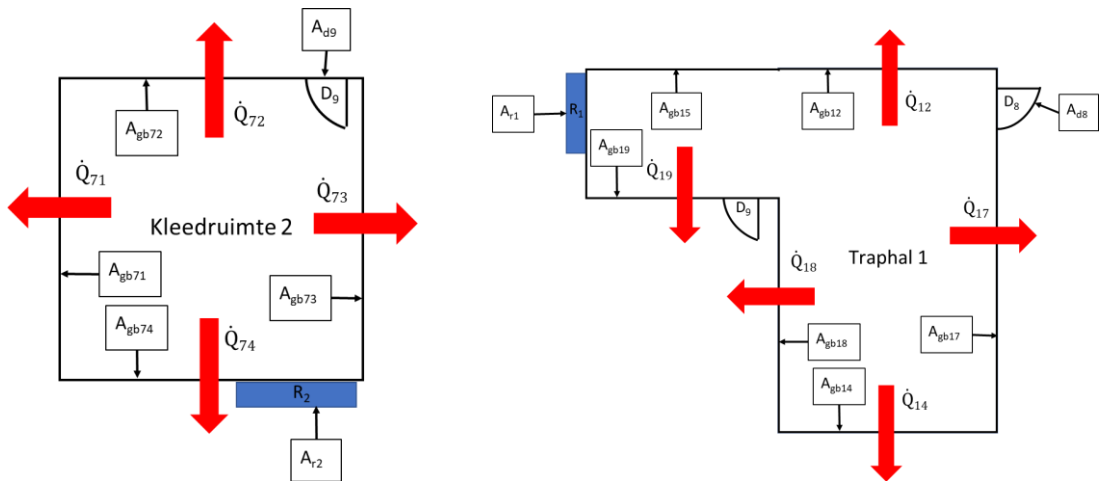
De volgende afbeeldingen (zie Figuur 63, Figuur 64, Figuur 65, Figuur 66, Figuur 67 en Figuur 68) geven het verloop weer van de warmteverliezen per lokaal.



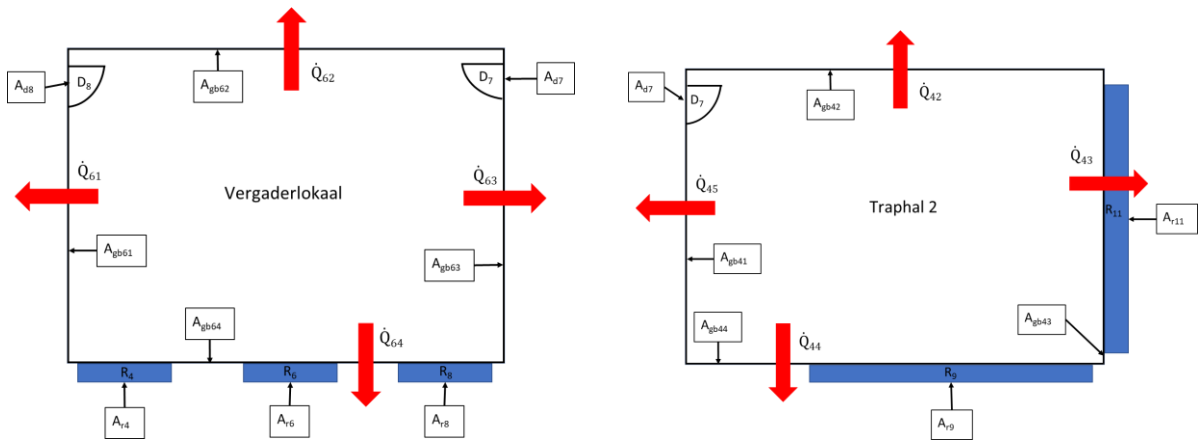
Figuur 63: Situatieschets traphal één en kleedruimte één



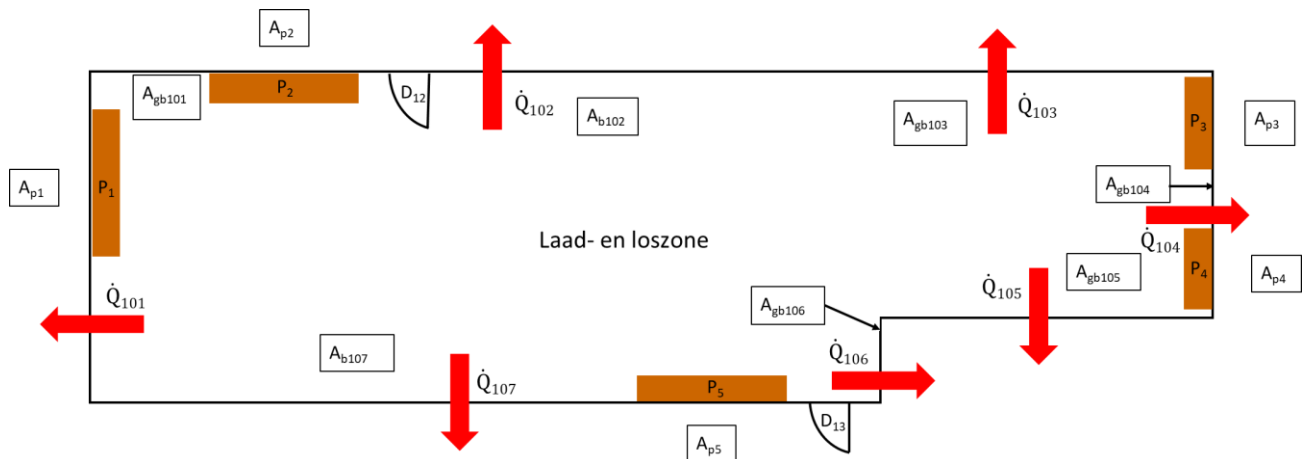
Figuur 64: Situatieschets kantine en traphal twee



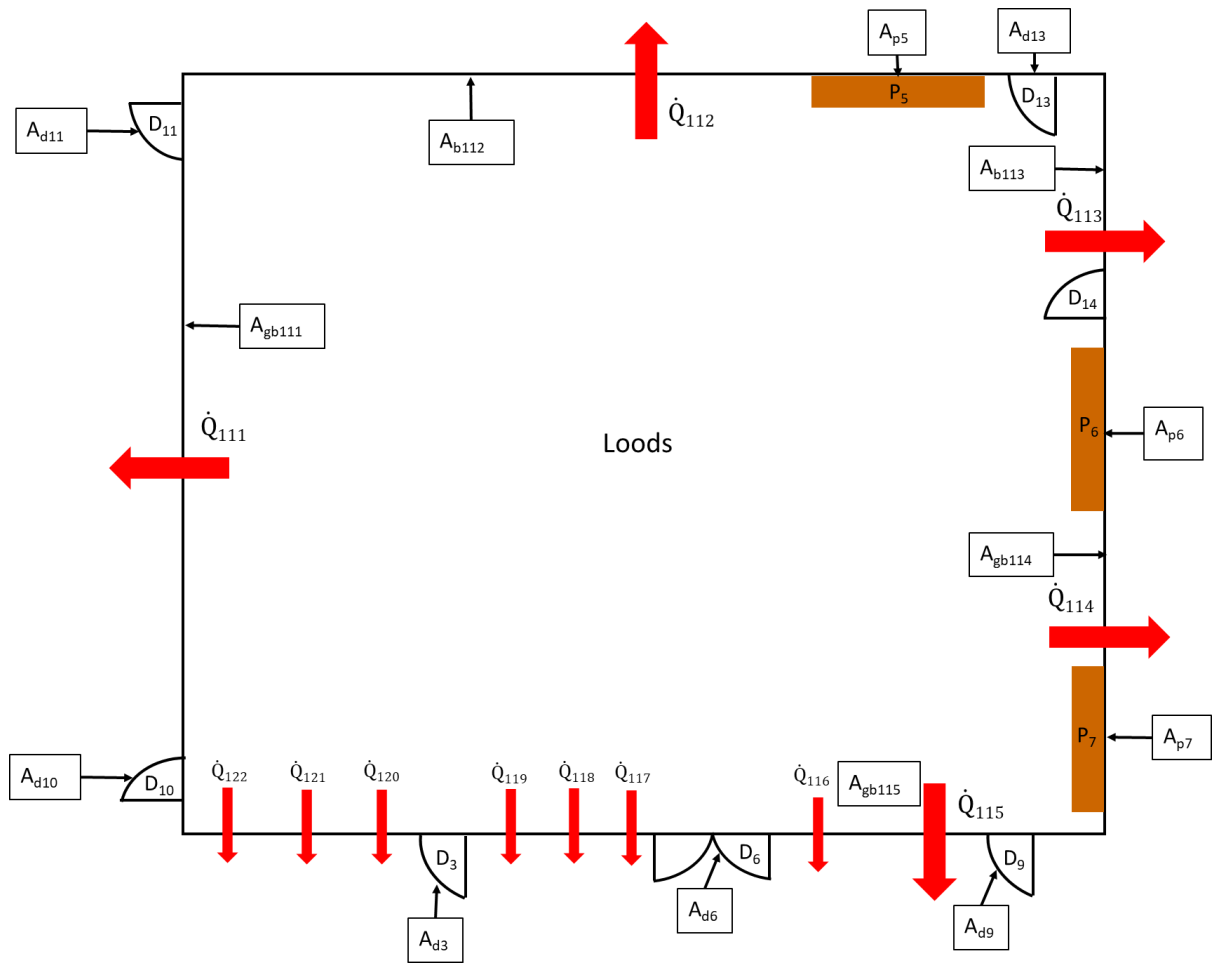
Figuur 65: Situatieschets kleedruimte twee en traphal één



Figuur 66: Situatieschets vergaderlokaal en traphal twee



Figuur 67: Situatieschets laad- en loszone



Figuur 68: Situatieschets loods

Bijlage E: Warmteweerstand van materialen berekenen

Buitenmuur loods

De buitenmuren van de loods worden in afbeelding (zie Figuur 29) als doorsnede weergegeven. Voor de afzonderlijke en de totale warmteweerstand te berekenen worden respectievelijk de formule (4.1) en (4.2) toegepast. Via de gegevens (zie Tabel 28) van de buitenmuur van de loods worden de afzonderlijke en totale warmteweerstand (zie Tabel 29) berekend.

Tabel 28: Gegevens buitenmuur loods [41]

Gegeven		
s_1	0,09	[m]
s_2	0,05	[m]
s_3	0,06	[m]
λ_1	1,7	[W/(m·K)]
λ_2	0,022	[W/(m·K)]
λ_3	2,2	[W/(m·K)]
R_{k2}	2,25	[(m ² ·K)/W]

Tabel 29: Afzonderlijke en totale warmteweerstand buitenmuur loods [41]

Rk1	0,053	[(m ² ·K)/W]
Rk2	2,25	[(m ² ·K)/W]
Rk3	0,027	[(m ² ·K)/W]
Rktot	2,3	[(m ² ·K)/W]

Dak van het bureel

Het dak van het bureel is opgebouwd uit verschillende materialen (zie Tabel 30). Voor de afzonderlijke en de totale warmteweerstand (zie Tabel 31) te berekenen worden respectievelijk de formules (4.1) en (4.2) toegepast.

Tabel 30: Materialen dak bureel [41]

Nr.	Materialen		
1	Voorgespannen welfsels: Dak VVP 16/120		
	R_{k1}	0,13	$[(m^2 \cdot K)/W]$
2	Sopraglass V3		
	s_2	0,003	[m]
	λ_2	0,23	$[W/(m \cdot K)]$
3	Isolatie: Rockwool Rhinox		
	R_{k3}	3	$[(m^2 \cdot K)/W]$
4	SOPRALENE OPTIMA 4 GF C3 FR		
	s_4	0,004	[m]
	λ_4	0,23	$[W/(m \cdot K)]$

Tabel 31: Afzonderlijke en totale warmteweerstand dak bureel [41]

R_{k1}	0,13	$[(m^2 \cdot K)/W]$
R_{k2}	0,013	$[W/(m \cdot K)]$
R_{k3}	3	$[(m^2 \cdot K)/W]$
R_{k4}	0,017	$[(m^2 \cdot K)/W]$
R_{tot}	3,16	$[(m^2 \cdot K)/W]$

Dak van de loods

Het dak van de loods is opgebouwd uit verschillende materialen (zie Tabel 32). Voor de afzonderlijke en de totale warmteweerstand (zie Tabel 33) te berekenen worden respectievelijk de formules (4.1) en (4.2) toegepast.

Tabel 32: Materialen dak loods [41]

Nr.	Materialen		
1	Voorgespannen welfsels: Dak VVP 16/120		
	R_{k1}	0,13	$[(m^2 \cdot K)/W]$
2	Sopraglass V3		
	s_2	0,003	[m]
	λ_2	0,23	$[W/(m \cdot K)]$
3	Isolatie: Rockwool Rhinox		
	R_{k3}	2	$[(m^2 \cdot K)/W]$
4	SOPRALENE OPTIMA 4 GF C3 FR		
	s_4	0,004	[m]
	λ_4	0,23	$[W/(m \cdot K)]$

Tabel 33: Afzonderlijke en totale warmteweerstand dak loods [41]

R_{k1}	0,13	$[(m^2 \cdot K)/W]$
R_{k2}	0,013	$[W/(m \cdot K)]$
R_{k3}	2	$[(m^2 \cdot K)/W]$
R_{k4}	0,017	$[(m^2 \cdot K)/W]$
R_{tot}	2,16	$[(m^2 \cdot K)/W]$

Vloer

De warmtedoorgangscoefficienten van de vloeren worden hieronder weergegeven (zie Tabel 34).

Tabel 34: Warmtedoorgangscoefficiënt vloer [41]

Vloer Volle grond		
$U_{vloer,grond}$	0,35	$[W/(m^2 \cdot K)]$
Vloer bureel 1ste verdieping		
$U_{1ste,verdiep}$	0,35	$[W/(m^2 \cdot K)]$

Tussenwanden

De tussenwand bestaat uit verschillende materialen (zie Tabel 35). Voor de afzonderlijke en de totale warmteweerstand (zie Tabel 36) te berekenen worden respectievelijk de formules ((4.1) en ((4.2) toegepast.

Tabel 35: Materialen tussenwand [41]

Materiaal		
Beton		
s_1	0,1	[m]
λ_1	1,7	[W/(m·K)]
Isolatie		
s_2	0,04	[m]
λ_2	0,022	[W/(m·K)]

Tabel 36: Afzonderlijke en totale warmteweerstand tussenwand [41]

R_{k1}	0,06	[(m ² ·K)/W]
R_{iso}	1,82	[(m ² ·K)/W]
R_{tot}	1,88	[(m ² ·K)/W]

Ramen, deuren en poorten

De warmtedoorgangscoefficienten van de deuren, ramen en poorten (zie Tabel 37 en Tabel 38) worden hieronder weergegeven.

Tabel 37: Warmtedoorgangscoefficienten deuren en ramen [73]

Deuren		
U_{d1}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{d2}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{d3}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{d4}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{d5}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{d6}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{d7}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{d8}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{d9}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{d10}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{d11}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{d12}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{d13}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{d14}	2,2	[W/(m ² ·K)]

Ramen		
U_{r1}	1,84	[W/(m ² ·K)]
U_{r2}	1,84	[W/(m ² ·K)]
U_{r3}	1,84	[W/(m ² ·K)]
U_{r4}	1,84	[W/(m ² ·K)]
U_{r5}	1,84	[W/(m ² ·K)]
U_{r6}	1,84	[W/(m ² ·K)]
U_{r7}	1,84	[W/(m ² ·K)]
U_{r8}	1,84	[W/(m ² ·K)]
U_{r9}	1,84	[W/(m ² ·K)]
U_{r10}	1,84	[W/(m ² ·K)]
U_{r11}	1,84	[W/(m ² ·K)]

Tabel 38: Warmtedoorgangscoefficienten poorten en raamkoepel [73]

Poorten		
U_{p1}	1,75	[W/(m ² ·K)]
U_{p2}	1,75	[W/(m ² ·K)]
U_{p3}	1,75	[W/(m ² ·K)]
U_{p4}	1,75	[W/(m ² ·K)]
U_{p5}	1,75	[W/(m ² ·K)]
U_{p6}	1,75	[W/(m ² ·K)]
U_{p7}	1,75	[W/(m ² ·K)]

Raamkoepel		
U_{rk1}	1,2	[W/(m ² ·K)]
U_{rk2}	1,2	[W/(m ² ·K)]
U_{rk3}	1,2	[W/(m ² ·K)]
U_{rk4}	1,2	[W/(m ² ·K)]
U_{rk5}	1,2	[W/(m ² ·K)]
U_{rk6}	1,2	[W/(m ² ·K)]

Bijlage F: Berekenen warmteverliezen

De warmteverliezen van traphal 1 (zie Tabel 39, Tabel 40, Tabel 41, Tabel 42, Tabel 43), kleedruimte 1 (zie Tabel 44, Tabel 45, Tabel 46), kantine (zie Tabel 47, Tabel 48, Tabel 49), traphal 2 (zie Tabel 50, Tabel 51, Tabel 52 en Tabel 53), vergaderzaal (zie Tabel 54, Tabel 55, Tabel 56 en Tabel 57), kleedkamer 2 (zie Tabel 58 en Tabel 59), laad- en loszone (zie Tabel 60, Tabel 61, Tabel 62, Tabel 63 en Tabel 64) en loods (zie Tabel 65, Tabel 66, Tabel 67, Tabel 68, Tabel 69, Tabel 70 en Tabel 71) worden hieronder weergegeven.

Traphal 1

Tabel 39: Warmteverliezen \dot{Q}_{11} en \dot{Q}_{12} traphal 1 [19] [73]

A_{gb11}	29,82	[m ²]			
U_{gb11}	0,27	[W/(m ² ·K)]			
A_{d1}	2,31	[m ²]			
U_{d1}	2,2	[W/(m ² ·K)]			
A_{r1}	2,7	[m ²]			
U_{r1}	1,84	[W/(m ² ·K)]			
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]			
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]			
T_{buit}	-8	[°C]			
T_{trap1}	16	[°C]			
\dot{Q}_{11}	365	[J/s]			

A_{gb12}	14,91	[m ²]			
U_{gb12}	0,27	[W/(m ² ·K)]			
A_{gb15}	16,52	[m ²]			
U_{gb15}	0,27	[W/(m ² ·K)]			
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]			
T_{loods}	16	[°C]			
T_{trap1}	16	[°C]			
\dot{Q}_{12}	0	[J/s]			

Tabel 40: Warmteverliezen \dot{Q}_{13} en \dot{Q}_{14} traphal 1 [19] [73]

A_{d2}	1,89	[m ²]			
U_{d2}	2,2	[W/(m ² ·K)]			
A_{gb13}	23,46	[m ²]			
U_{gb13}	0,53	[W/(m ² ·K)]			
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]			
T_{kleed1}	24	[°C]			
T_{trap1}	16	[°C]			
\dot{Q}_{13}	-125,74	[J/s]			

A_{gb14}	14,91	[m ²]			
U_{14}	0,27	[W/(m ² ·K)]			
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]			
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]			
T_{buit}	-8	[°C]			
T_{trap1}	16	[°C]			
\dot{Q}_{14}	92,67	[J/s]			

Tabel 41: Warmteverliezen \dot{Q}_{17} en \dot{Q}_{18} traphal 1 [19] [73]

A_{gb17}	28,01	[m ²]	A_{gb18}	20,52	[m ²]
U_{gb17}	0,53	[W/(m ² ·K)]	U_{gb18}	0,53	[W/(m ² ·K)]
A_{d8}	2,00	[m ²]	U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
U_{d8}	2,2	[W/(m ² ·K)]	T_{kleet2}	24	[°C]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]	T_{trap1}	16	[°C]
T_{verg}	20	[°C]	\dot{Q}_{18}	-81,79	[J/s]
T_{trap1}	16	[°C]			
\dot{Q}_{17}	-73,04	[J/s]			

Tabel 42: Warmteverliezen \dot{Q}_{19} en \dot{Q}_{20} traphal 1 [19] [73]

A_{gb19}	14,53	[m ²]	$A_{trap1,vloer}$	15,15	[m ²]
U_{gb19}	0,53	[W/(m ² ·K)]	$U_{trap1,vloer}$	0,35	[W/(m ² ·K)]
A_{d9}	2,00	[m ²]	U_{si}	5,88	[W/(m ² ·K)]
U_{d9}	2,2	[W/(m ² ·K)]	U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]	T_{buit}	-8	[°C]
T_{kleet2}	24	[°C]	T_{trap1}	16	[°C]
T_{trap1}	16	[°C]	\dot{Q}_{20}	118,55	[J/s]
\dot{Q}_{19}	-90,55	[J/s]			

Tabel 43: Warmteverliezen \dot{Q}_{21} traphal 1 [19] [73]

$A_{trap1,dak}$	15,15	[m ²]
$U_{trap1,dak}$	0,32	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	10	[W/(m ² ·K)]
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]
T_{buit}	-8	[°C]
T_{trap1}	16	[°C]
\dot{Q}_{21}	110,17	[J/s]

Kleedruimte 1

Tabel 44: Warmteverliezen \dot{Q}_{21} en \dot{Q}_{22} kleedruimte één [19] [73]

A_{gb21}	23,46	[m ²]
U_{gb21}	0,533	[W/(m ² ·K)]
A_{d2}	1,89	[m ²]
U_{d2}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_{trap1}	16	[°C]
T_{kleed2}	24	[°C]
\dot{Q}_{21}	125,74	[J/s]

A_{gb22}	11,49	[m ²]
U_{gb22}	0,27	[W/(m ² ·K)]
A_{d3}	1,89	[m ²]
U_{d3}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_{loods}	16	[°C]
T_{kleed2}	24	[°C]
\dot{Q}_{22}	53,59	[J/s]

Tabel 45: Warmteverliezen \dot{Q}_{23} en \dot{Q}_{24} kleedruimte één [19] [73]

A_{b23}	23,46	[m ²]
U_{gb23}	0,533	[W/(m ² ·K)]
A_{d4}	1,89	[m ²]
U_{d4}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_{verg}	20	[°C]
T_{kleed2}	24	[°C]
\dot{Q}_{23}	62,87	[J/s]

A_{gb24}	12,08	[m ²]
U_{gb24}	0,271	[W/(m ² ·K)]
A_{r3}	1,3	[m ²]
U_{r3}	1,84	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]
T_{buit}	-8	[°C]
T_{kleed2}	24	[°C]
\dot{Q}_{24}	158,47	[J/s]

Tabel 46: Warmteverliezen \dot{Q}_{21} en \dot{Q}_{22} kleedruimte één [19] [73]

$A_{kleed1,vloer}$	30,45	[m ²]
$U_{kleed1,vloer}$	0,35	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	10	[W/(m ² ·K)]
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]
T_{buit}	-8	[°C]
T_{kleed2}	24	[°C]
\dot{Q}_{25}	325,11	[J/s]

$A_{kleed1,plafont}$	30,45	[m ²]
$U_{kleed1,plafont}$	0,35	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	10	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	5,88	[W/(m ² ·K)]
T_{verg}	20	[°C]
T_{kleed2}	24	[°C]
\dot{Q}_{26}	38,95	[J/s]

Kantine

Tabel 47: Warmteverliezen \dot{Q}_{31} en \dot{Q}_{32} kantine [19] [73]

A_{b31}	23,46	[m ²]			
U_{b31}	0,533	[W/(m ² ·K)]			
A_{d4}	1,89	[m ²]		A_{gb32}	41,30 [m ²]
U_{d4}	2,2	[W/(m ² ·K)]		U_{gb32}	0,271 [W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]		U_{si}	7,69 [W/(m ² ·K)]
T_1	24	[°C]		T_1	16 [°C]
T_{2kant}	20	[°C]		T_{2kant}	20 [°C]
\dot{Q}_{31}	-62,87	[J/s]		\dot{Q}_{32}	43,99 [J/s]

Tabel 48: Warmteverliezen \dot{Q}_{33} en \dot{Q}_{34} kantine [19] [73]

A_{b33}	21,57	[m ²]		A_{gb34}	32,93 [m ²]
U_{b33}	0,533	[W/(m ² ·K)]		U_{gb34}	0,271 [W/(m ² ·K)]
A_{d5}	3,78	[m ²]		A_{r5}	2,79 [m ²]
U_{d5}	2,2	[W/(m ² ·K)]		U_{r5}	1,84 [W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]		A_{r7}	5,59 [m ²]
T_1	16	[°C]		U_{r7}	1,84 [W/(m ² ·K)]
T_{2kant}	20	[°C]		U_{si}	7,69 [W/(m ² ·K)]
\dot{Q}_{33}	52,28	[J/s]		U_{se}	25 [W/(m ² ·K)]
				T_1	-8 [°C]
				T_{2kant}	20 [°C]
				\dot{Q}_{34}	567,59 [J/s]

Tabel 49: Warmteverliezen \dot{Q}_{35} en \dot{Q}_{36} kantine [19] [73]

$A_{kant,vloer}$	90,9	[m ²]		$A_{kant,plafond}$	90,9 [m ²]
$U_{kant,vloer}$	0,35	[W/(m ² ·K)]		$U_{kant,plafond}$	0,35 [W/(m ² ·K)]
U_{si}	5,88	[W/(m ² ·K)]		U_{si}	10 [W/(m ² ·K)]
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]		U_{si}	10 [W/(m ² ·K)]
T_{buit}	-8	[°C]		T_{verg}	20 [°C]
T_{kant}	20	[°C]		T_{kant}	20 [°C]
\dot{Q}_{35}	829,83	[J/s]		\dot{Q}_{36}	0 [J/s]

Traphal 2

Tabel 50: Warmteverliezen \dot{Q}_{41} en \dot{Q}_{42} traphal twee [19] [73]

A_{b41}	21,57	[m ²]	A_{gb42}	50,83	[m ²]
U_{b41}	0,533	[W/(m ² ·K)]	U_{gb42}	0,271	[W/(m ² ·K)]
A_{d5}	3,78	[m ²]	A_{d6}	3,78	[m ²]
U_{d5}	2,2	[W/(m ² ·K)]	U_{d6}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]	U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_{kant}	20	[°C]	T_{loods}	16	[°C]
T_{trap2}	16	[°C]	T_{trap2}	16	[°C]
\dot{Q}_{41}	-73,53	[J/s]	\dot{Q}_{42}	0	[J/s]

Tabel 51: Warmteverliezen \dot{Q}_{43} en \dot{Q}_{44} traphal twee [19] [73]

A_{gb43}	6,71	[m ²]	A_{gb44}	38,86	[m ²]
U_{gb43}	0,271	[W/(m ² ·K)]	U_{gb44}	0,271	[W/(m ² ·K)]
A_{r11}	48,64	[m ²]	A_{r10}	8,95	[m ²]
U_{r11}	1,84	[W/(m ² ·K)]	U_{r10}	1,84	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]	A_{r9}	6,799	[m ²]
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]	U_{r9}	1,84	[W/(m ² ·K)]
T_{buit}	-8	[°C]	U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_{trap2}	16	[°C]	U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]
\dot{Q}_{43}	1677,80	[J/s]	T_{buit}	-8	[°C]
			T_{trap2}	16	[°C]
			\dot{Q}_{44}	771,43	[J/s]

Tabel 52: Warmteverliezen vloer en plafond traphal twee [19] [73]

$A_{trap2,vloer}$	55,5	[m ²]	$A_{ltrap2,plafond}$	55,5	[m ²]
$U_{trap2,vloer}$	0,35	[W/(m ² ·K)]	$U_{trap2,plafond}$	0,316	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	5,88	[W/(m ² ·K)]	U_{si}	10	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	10	[W/(m ² ·K)]	U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]
T_{buit}	0	[°C]	T_{buit}	0	[°C]
T_{trap2}	16	[°C]	T_{trap2}	16	[°C]
\dot{Q}_{46}	283,97	[J/s]	\dot{Q}_{47}	269,06	[J/s]

Tabel 53: Warmteverliezen \dot{Q}_{45} kantine twee [19] [73]

A_{b45}	30	[m ²]
U_{b45}	0,53	[W/(m ² ·K)]
A_{d7}	2,00	[m ²]
U_{d7}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_{verg}	20	[°C]
T_{trap2}	16	[°C]
\dot{Q}_{45}	-77,15	[J/s]

Vergaderzaal

Tabel 54: Warmteverliezen \dot{Q}_{61} en \dot{Q}_{62} vergaderzaal [19] [73]

A_{b61}	25,01	[m ²]
U_{b61}	0,533	[W/(m ² ·K)]
A_{d8}	2,00	[m ²]
U_{d8}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_{trap1}	16	[°C]
T_{verg}	20	[°C]
\dot{Q}_{61}	66,86	[J/s]

A_{b62}	58,75	[m ²]
U_{b61}	0,271	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_{trap1}	16	[°C]
T_{verg}	20	[°C]
\dot{Q}_{62}	62,57	[J/s]

Tabel 55: Warmteverliezen \dot{Q}_{63} en \dot{Q}_{64} vergaderzaal [19] [73]

A_{b63}	25,01	[m ²]
U_{b63}	0,533	[W/(m ² ·K)]
A_{d7}	2,00	[m ²]
U_{d7}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_{trap2}	16	[°C]
T_{verg}	20	[°C]
\dot{Q}_{63}	66,86	[J/s]

A_{gb64}	40,58	[m ²]
U_{gb64}	0,271	[W/(m ² ·K)]
A_{r4}	5,94	[m ²]
U_{r4}	1,84	[W/(m ² ·K)]
A_{r6}	6,79	[m ²]
U_{r6}	1,84	[W/(m ² ·K)]
A_{r8}	5,44	[m ²]
U_{r8}	1,84	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]
T_{buit}	-8	[°C]
T_{verg}	20	[°C]
\dot{Q}_{64}	1007,32	[J/s]

Tabel 56: Warmteverliezen \dot{Q}_{65} en \dot{Q}_{66} vergaderzaal [19] [73]

$A_{\text{verg,vloer}}$	30,45	[m ²]	$A_{\text{verg,vloer}}$	91,95	[m ²]
$U_{\text{verg,vloer}}$	0,35	[W/(m ² ·K)]	$U_{\text{verg,vloer}}$	0,35	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	5,88	[W/(m ² ·K)]	U_{si}	5,88	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	25	[W/(m ² ·K)]	U_{si}	25	[W/(m ² ·K)]
T_{kleet1}	24	[°C]	T_{kant}	20	[°C]
T_{verg}	20	[°C]	T_{verg}	20	[°C]
\dot{Q}_{65}	-39,71	[J/s]	\dot{Q}_{66}	0	[J/s]

Tabel 57: Warmteverliezen \dot{Q}_{67} vergaderzaal [19] [73]

$A_{\text{verg,dak}}$	122,4	[m ²]
$U_{\text{verg,dak}}$	0,316	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	10	[W/(m ² ·K)]
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]
T_{buit}	-8	[°C]
T_{verg}	20	[°C]
\dot{Q}_{67}	1038,41	[J/s]

Kleedkamer 2

Tabel 58: Warmteverliezen \dot{Q}_{71} en \dot{Q}_{72} kleedkamer twee [19] [73]

A_{gb71}	20,52	[m ²]	A_{gb72}	14,53	[m ²]
U_{gb71}	0,271	[W/(m ² ·K)]	U_{gb72}	0,53	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]	A_{d9}	2,00	[m ²]
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]	U_{d9}	2,2	[W/(m ² ·K)]
T_{buit}	-8	[°C]	U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_{kleet2}	24	[°C]	T_{trap1}	16	[°C]
\dot{Q}_{71}	170,09	[J/s]	T_{kleet2}	24	[°C]
			\dot{Q}_{72}	68,13	[J/s]

Tabel 59: Warmteverliezen \dot{Q}_{73} en \dot{Q}_{74} kleedkamer twee [19] [73]

A_{gb73}	20,52	[m ²]
U_{gb73}	0,53	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_{trap1}	16	[°C]
T_{kleed2}	24	[°C]
\dot{Q}_{73}	84,53	[J/s]

A_{gb74}	15,22	[m ²]
U_{gb74}	0,271	[W/(m ² ·K)]
A_{r2}	1,3	[m ²]
U_{r2}	1,84	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]
T_{buit}	-8	[°C]
T_{kleed2}	24	[°C]
\dot{Q}_{74}	184,46	[J/s]

Laad- en loszone

Tabel 60: Warmteverliezen \dot{Q}_{101} en \dot{Q}_{102} Laad- en loszone [19] [73]

A_{gb101}	58,99	[m ²]
U_{gb101}	0,429	[W/(m ² ·K)]
A_{p1}	18	[m ²]
U_{p1}	1,75	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]
T_{buit}	-8	[°C]
T_{loods}	16	[°C]
\dot{Q}_{101}	1148,95	[J/s]

A_{b102}	293,35	[m ²]
U_{gb102}	0,533	[W/(m ² ·K)]
A_{p2}	18,09	[m ²]
U_{p2}	1,75	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_1	16	[°C]
T_{loods}	16	[°C]
\dot{Q}_{102}	0	[J/s]

Tabel 61: Warmteverliezen \dot{Q}_{103} en \dot{Q}_{104} Laad- en loszone [19] [73]

A_{gb103}	48,11	[m ²]
U_{gb103}	0,535	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]
T_{buit}	-8	[°C]
T_{loods}	16	[°C]
\dot{Q}_{103}	565,86	[J/s]

A_{gb104}	35,82	[m ²]
U_{gb104}	0,429	[W/(m ² ·K)]
A_{p3}	13,5	[m ²]
U_{p3}	1,75	[W/(m ² ·K)]
A_{p4}	13,5	[m ²]
U_{p4}	1,75	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]
T_{buit}	-8	[°C]
T_{loods}	16	[°C]
\dot{Q}_{104}	1217,79	[J/s]

Tabel 62: Warmteverliezen \dot{Q}_{105} en \dot{Q}_{106} Laad- en loszone [19] [73]

A_{gb105}	116,55	[m ²]
U_{gb105}	0,429	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_{buit}	-8	[°C]
T_{loods}	16	[°C]
\dot{Q}_{105}	1136,96	[J/s]

A_{gb106}	14,23	[m ²]
U_{gb106}	0,429	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_{buit}	-8	[°C]
T_{loods}	16	[°C]
\dot{Q}_{106}	138,79	[J/s]

Tabel 63: Warmteverliezen \dot{Q}_{107} en \dot{Q}_{108} Laad- en loszone [19] [73]

A_{gb107}	210,02	[m ²]	$A_{dak,laad}$	592,63	[m ²]
U_{gb107}	0,533	[W/(m ² ·K)]	$U_{dak,loods}$	0,463	[W/(m ² ·K)]
A_{p5}	20,7	[m ²]	A_{rk3}	5,4	[m ²]
U_{p5}	1,75	[W/(m ² ·K)]	U_{rk3}	1,2	[W/(m ² ·K)]
A_{d13}	2,25	[m ²]	A_{rk4}	5,4	[m ²]
U_{d13}	1,3	[W/(m ² ·K)]	U_{rk4}	1,2	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]	A_{rk5}	5,4	[m ²]
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]	U_{rk5}	1,2	[W/(m ² ·K)]
T_{loods}	16	[°C]	A_{rk6}	5,4	[m ²]
T_{loods}	16	[°C]	U_{rk6}	1,2	[W/(m ² ·K)]
\dot{Q}_{107}	0	[J/s]	U_{si}	10	[W/(m ² ·K)]
			U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]
			T_{buit}	-8	[°C]
			T_{loods}	16	[°C]
			\dot{Q}_{108}	6715,36	[J/s]

Tabel 64: Warmteverliezen \dot{Q}_{109} Laad- en loszone [19] [73]

$A_{vloer,laad}$	596,58	[m ²]
$U_{dak,laad}$	0,35	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	5,88	[W/(m ² ·K)]
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]
T_{buit}	-8	[°C]
T_{loods}	16	[°C]
\dot{Q}_{109}	4668,16	[J/s]

Loods

Tabel 65: Warmteverliezen \dot{Q}_{111} en \dot{Q}_{112} loods [19] [73]

A_{gb111}	415,66	[m ²]	A_{b112}	210,02	[m ²]
U_{gb111}	0,429	[W/(m ² ·K)]	U_{b112}	0,533	[W/(m ² ·K)]
A_{d10}	2,25	[m ²]	A_{p5}	20,7	[m ²]
U_{d10}	1,3	[W/(m ² ·K)]	U_{p5}	1,75	[W/(m ² ·K)]
A_{d11}	2,25	[m ²]	A_{d13}	2,25	[m ²]
U_{d11}	1,3	[W/(m ² ·K)]	U_{d13}	1,3	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]	U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]	T_1	16	[°C]
T_{buit}	-8	[°C]	T_{loods}	16	[°C]
T_{loods}	16	[°C]	\dot{Q}_{112}	0	[J/s]
\dot{Q}_{111}	4104,97	[J/s]			

Tabel 66: Warmteverliezen \dot{Q}_{113} en \dot{Q}_{114} loods [19] [73]

A_{b113}	346,93	[m ²]	A_{gb114}	46,46	[m ²]
U_{b113}	0,533	[W/(m ² ·K)]	U_{gb114}	0,429	[W/(m ² ·K)]
A_{d14}	2,25	[m ²]	A_{p7}	20,25	[m ²]
U_{d14}	1,3	[W/(m ² ·K)]	U_{p7}	1,75	[W/(m ² ·K)]
A_{p6}	24,53	[m ²]	U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
U_{p6}	1,75	[W/(m ² ·K)]	U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]	T_{buit}	-8	[°C]
T_1	16	[°C]	T_{loods}	16	[°C]
T_{loods}	16	[°C]	\dot{Q}_{114}	1101,47	[J/s]
\dot{Q}_{113}	0	[J/s]			

Tabel 67: Warmteverliezen \dot{Q}_{115} en \dot{Q}_{116} loods [19] [73]

A_{gb115}	45,83	[m ²]
U_{gb115}	0,271	[W/(m ² ·K)]
A_{d9}	2,25	[m ²]
U_{d9}	1,3	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]
T_{buit}	-8	[°C]
T_{loods}	16	[°C]
\dot{Q}_{115}	342,37	[J/s]

A_{gb42}	50,83	[m ²]
U_{gb42}	0,271	[W/(m ² ·K)]
A_{d6}	3,78	[m ²]
U_{d6}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_{trap2}	16	[°C]
T_{loods}	16	[°C]
\dot{Q}_{116}	0	[J/s]

Tabel 68: Warmteverliezen \dot{Q}_{117} en \dot{Q}_{118} loods [19] [73]

A_{gb32}	41,30	[m ²]
U_{gb32}	0,271	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_{kant}	20	[°C]
T_{loods}	16	[°C]
\dot{Q}_{117}	-43,24	[J/s]

A_{gb22}	11,49	[m ²]
U_{gb32}	0,271	[W/(m ² ·K)]
A_{d3}	1,89	[m ²]
U_{d3}	2,2	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_{kleet1}	24	[°C]
T_{loods}	16	[°C]
\dot{Q}_{118}	-53,59	[J/s]

Tabel 69: Warmteverliezen \dot{Q}_{119} en \dot{Q}_{120} loods [19] [73]

A_{gb61}	58,75	[m ²]
U_{gb61}	0,271	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_{verg}	20	[°C]
T_{loods}	16	[°C]
\dot{Q}_{119}	-61,51	[J/s]

A_{gb12}	14,91	[m ²]
U_{gb12}	0,271	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_{trap1}	16	[°C]
T_{loods}	16	[°C]
\dot{Q}_{120}	0	[J/s]

Tabel 70: Warmteverliezen \dot{Q}_{121} en \dot{Q}_{122} loods [19] [73]

A_{gb121}	14,20	[m ²]
U_{gb121}	0,271	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]
T_{buit}	-8	[°C]
T_{loods}	16	[°C]
\dot{Q}_{121}	88,25	[J/s]

A_{gb14}	36,12	[m ²]
U_{gb14}	0,271	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	7,69	[W/(m ² ·K)]
T_{trap1}	16	[°C]
T_{loods}	16	[°C]
\dot{Q}_{122}	0	[J/s]

Tabel 71: Warmteverliezen \dot{Q}_{123} en \dot{Q}_{124} loods [19] [73]

$A_{dak,loods}$	1881,13	[m ²]
U_{gb130}	0,463	[W/(m ² ·K)]
A_{rk1}	96	[m ²]
U_{rk1}	1,2	[W/(m ² ·K)]
A_{rk2}	96	[m ²]
U_{rk2}	1,2	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	10	[W/(m ² ·K)]
U_{se}	25	[W/(m ² ·K)]
T_{buit}	-8	[°C]
T_{loods}	16	[°C]
\dot{Q}_{123}	24359,72	[J/s]

$A_{vloer,loods}$	1878,24	[m ²]
$U_{vloer,loods}$	0,35	[W/(m ² ·K)]
U_{si}	5,88	[W/(m ² ·K)]
U_{se}	25,00	[W/(m ² ·K)]
T_{buit}	-8	[°C]
T_{loods}	16	[°C]
\dot{Q}_{124}	14696,99	[J/s]

Bijlage G: Massadebiet per ruimte

In de onderstaande tabel (zie Tabel 72) worden de massadebieten van elke ruimte weergegeven. Het temperatuurverschil tussen inlaat en uitlaat bedraagt acht graden Celsius. Het verlies aan warmte bedraagt 10% [43].

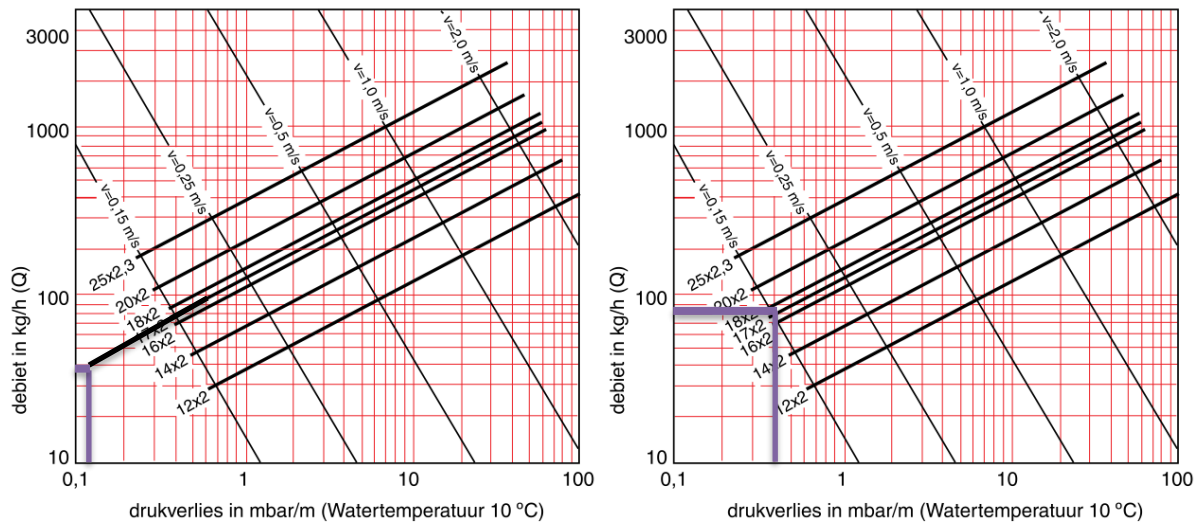
Tabel 72: Massadebiet per ruimte [43]

\dot{Q}_{trap1}	323,10	[J/s]		\dot{Q}_{kleed1}	1505,34	[J/s]
$\dot{Q}_{\text{v,trap1}}$	32,31	[J/s]		$\dot{Q}_{\text{v,kleed1}}$	150,53	[J/s]
ΔT	8	[K]		ΔT	8	[K]
\dot{m}_{trap1}	38,20	[kg/h]		\dot{m}_{kleed1}	177,97	[kg/h]
\dot{Q}_{kant}	1486,49	[J/s]		\dot{Q}_{trap2}	3366,44	[J/s]
$\dot{Q}_{\text{v,kant}}$	148,65	[J/s]		$\dot{Q}_{\text{v,trap2}}$	336,64	[J/s]
ΔT	8	[K]		ΔT	8	[K]
\dot{m}_{kant}	175,75	[kg/h]		\dot{m}_{trap2}	398,01	[kg/h]
\dot{Q}_{verg}	2329,30	[J/s]		\dot{Q}_{kleed2}	1765,52	[J/s]
$\dot{Q}_{\text{v,verg}}$	232,93	[J/s]		$\dot{Q}_{\text{v,kleed2}}$	176,55	[J/s]
ΔT	8	[K]		ΔT	8	[K]
\dot{m}_{verg}	275,39	[kg/h]		\dot{m}_{kleed2}	208,74	[kg/h]
\dot{Q}_{maga}	63224,89	[J/s]				
$\dot{Q}_{\text{v,maga}}$	6322,49	[J/s]				
ΔT	8	[K]				
\dot{m}_{maga}	7475,00	[kg/h]				

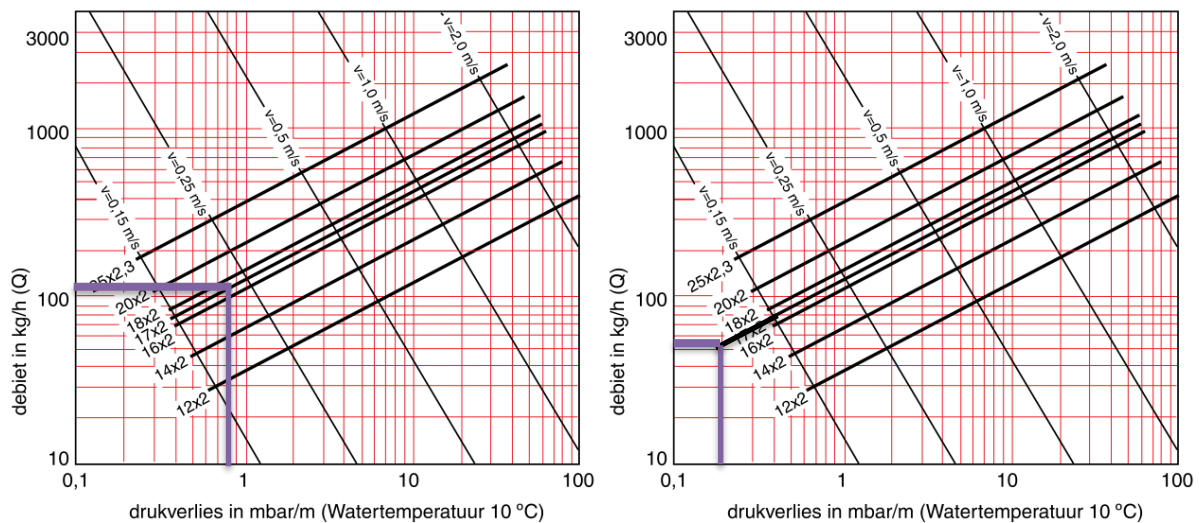
Bijlage H: Drukvalen

Drukval per kring

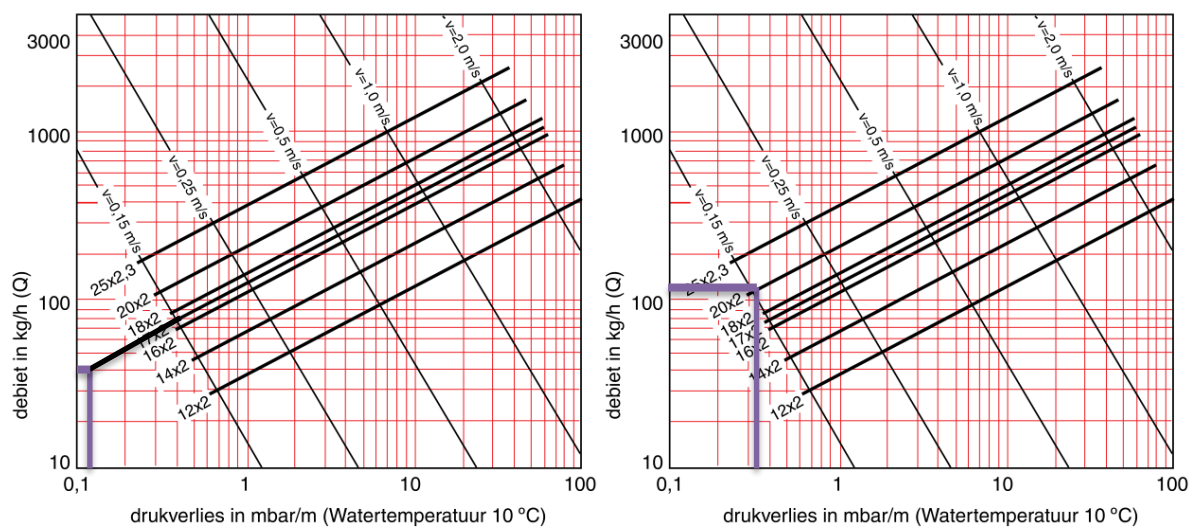
In de onderstaande grafieken (zie Figuur 69, Figuur 70 en Figuur 71) worden de drukvalen per meter per kring en ruimte weergegeven. In het bureel bevinden zich leidingen van het type 17x2 en in het magazijn 20x2.



Figuur 69: Drukverlies traphal één (links) en kleedruimte één (rechts) [43]



Figuur 70: Drukverlies kleedruimte twee (links) en vergaderlokaal (rechts) [43]



Figuur 71: Drukverlies kantine (links) en magazijn (rechts) [43]

Vloeistofsnelheden

Om de snelheid van de vloeistof in de leidingen te berekenen wordt het debiet gedeeld door de oppervlakte van de leiding [44]. In onderstaande tabel (zie Tabel 73) worden de snelheden door de leidingen weergegeven.

Tabel 73: Snelheden door leidingen

$d_{\text{bureel,gelijks}}$	0,02	[m]
$Q_{\text{v,bureel,gelijks}}$	2,19E-04	[m ³ /s]
$v_{\text{bureel,gelijks}}$	0,70	[m/s]
$d_{\text{bureel,1ste,ver}}$	0,02	[m]
$Q_{\text{v,bureel,1ste,ver}}$	1,34E-04	[m ³ /s]
$v_{\text{bureel,1ste,ver}}$	0,43	[m/s]
d_{maga1}	0,053	[m]
$Q_{\text{v,maga1}}$	3,46E-05	[m ³ /s]
v_{maga1}	0,47	[m/s]
d_{hoofd}	0,0688	[m]
$Q_{\text{v,hoofd}}$	0,0024	[m ³ /s]
v_{hoofd}	0,65	[m/s]

Drukval kranen en terugslagkleppen

In de onderstaande tabel (zie Tabel 74) worden de drukvallen over de kranen en terugslagkleppen weergegeven [45].

Tabel 74: Drukval over kranen en terugslagkleppen [45]

ξ_{terug}	2	[/]	ξ_{kraan}	0,3	[/]
ρ_{water}	1000	[kg/m ³]	ρ_{water}	1000	[kg/m ³]
$v_{\text{bureel,gelijk}}$	0,70	[m/s]	$v_{\text{bureel,gelijk}}$	0,70	[m/s]
$p_{\text{wt,bureel,gelijk}}$	487,84	[Pa]	$p_{\text{wk,bureel,gelijk}}$	73,18	[Pa]
ξ_{terug}	2	[/]	ξ_{kraan}	0,3	[/]
ρ_{water}	1000	[kg/m ³]	ρ_{water}	1000	[kg/m ³]
$v_{\text{bureel,1ste,ver}}$	0,43	[m/s]	$v_{\text{bureel,1ste,ver}}$	0,43	[m/s]
$p_{\text{wt,bureel,1ste,ver}}$	183,24	[Pa]	$p_{\text{wk,bureel,1ste,ver}}$	27,49	[Pa]
ξ_{terug}	2	[/]	ξ_{kraan}	0,6	[/]
ρ_{water}	1000	[kg/m ³]	ρ_{water}	1000	[kg/m ³]
v_{maga1}	0,47	[m/s]	v_{maga1}	0,47	[m/s]
$p_{\text{wt,maga1}}$	221,45	[Pa]	$p_{\text{wk,maga1}}$	66,43	[Pa]
ξ_{terug}	2	[/]	ξ_{kraan}	0,6	[/]
ρ_{water}	1000	[kg/m ³]	ρ_{water}	1000	[kg/m ³]
v_{maga2}	0,47	[m/s]	v_{maga2}	0,47	[m/s]
$p_{\text{wt,maga2}}$	221,45	[Pa]	$p_{\text{wk,maga2}}$	66,43	[Pa]
ξ_{kraan}	1	[/]	ξ_{terug}	6,4	[/]
ρ_{water}	1000	[kg/m ³]	ρ_{water}	1000	[kg/m ³]
v_{hoofd}	0,65	[m/s]	v_{hoofd}	0,65	[m/s]
$p_{\text{wk,hoofd}}$	213,68	[Pa]	$p_{\text{wt,hoofd}}$	1367,52	[Pa]

Kv- / Kvs-waarde per kring per ruimte

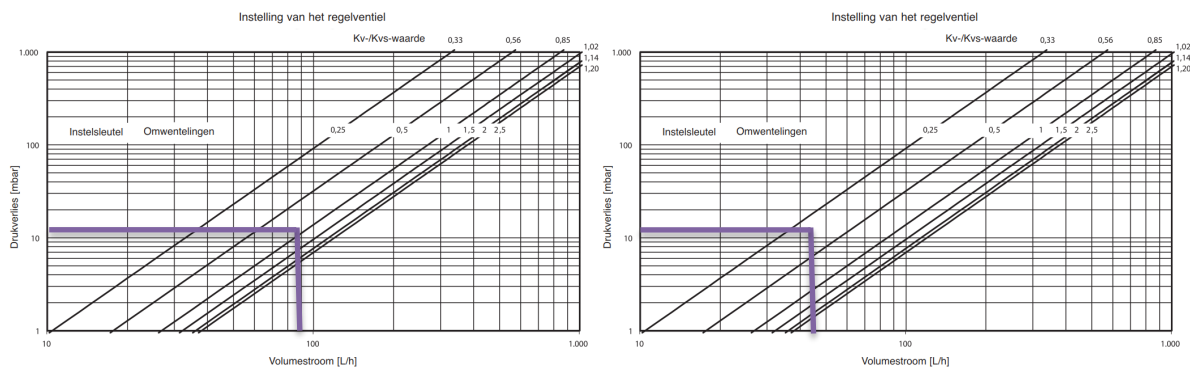
In de onderstaande tabel (zie Tabel 75) worden de Kv- / Kvs-waarde per kring per ruimte weergegeven.

Tabel 75: Berekenen Kv- / Kvs-waarde per kring per ruimte [48]

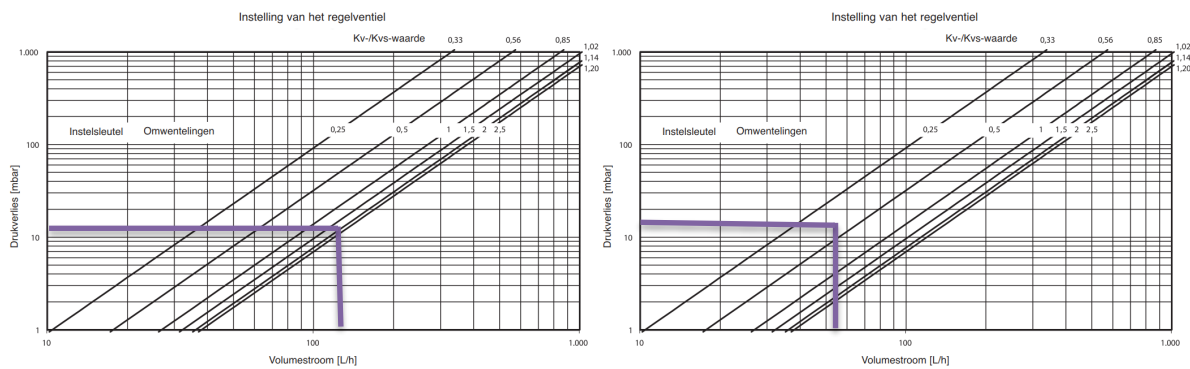
$Q_{V,trap1,1kring}$	1,06E-05	[m ³ /s]		$Q_{V,kleed1,1kring}$	2,47E-05	[m ³ /s]
K_{VS}	3,33E-04	[m ³ /s]		K_{VS}	3,33E-04	[m ³ /s]
Δp_k	100000	[Pa]		Δp_k	100000	[Pa]
ρ_{water}	1000	[kg/m ³]		ρ_{water}	1000	[kg/m ³]
$f_{V,trap1,1kring}$	0,32	[%]		$f_{V,kleed1,1kring}$	0,74	[%]
$Q_{V,kant,1kring}$	1,22E-05	[m ³ /s]		$Q_{V,trap2,1kring}$	3,69E-05	[m ³ /s]
K_{VS}	3,33E-04	[m ³ /s]		K_{VS}	3,33E-04	[m ³ /s]
Δp_k	100000	[Pa]		Δp_k	100000	[Pa]
ρ_{water}	1000	[kg/m ³]		ρ_{water}	1000	[kg/m ³]
$f_{V,kant,1kring}$	0,37	[%]		$f_{V,trap2,1kring}$	1,11	[%]
$Q_{V,verg,1kring}$	1,53E-05	[m ³ /s]		$Q_{V,kleed2,1kring}$	2,90E-05	[m ³ /s]
K_{VS}	3,33E-04	[m ³ /s]		K_{VS}	3,33E-04	[m ³ /s]
Δp_k	100000	[Pa]		Δp_k	100000	[Pa]
ρ_{water}	1000	[kg/m ³]		ρ_{water}	1000	[kg/m ³]
$f_{V,verg,1kring}$	0,46	[%]		$f_{V,kleed2,1kring}$	0,87	[%]
$Q_{V,maga,1kring}$	3,46E-05	[m ³ /s]				
K_{VS}	3,33E-04	[m ³ /s]				
Δp_k	100000	[Pa]				
ρ_{water}	1000	[kg/m ³]				
$f_{V,maga,1kring}$	1,04	[%]				

Drukval regelventiel collector

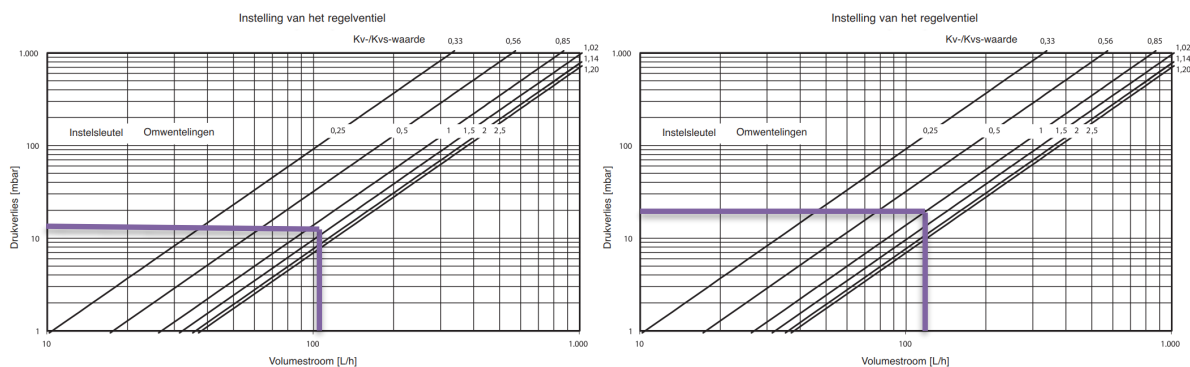
In onderstaande grafieken (zie Figuur 72, Figuur 73 en Figuur 74) wordt de drukval van de regelventiel van de collector bepaald.



Figuur 72: Drukval regelventiel collector kleedruimte één (links) en kantine (rechts) [48]



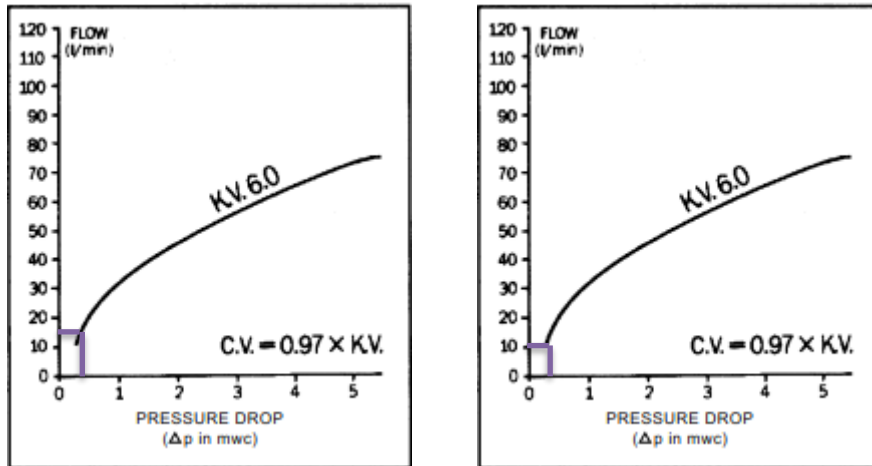
Figuur 73: Drukval regelventiel collector van traphal twee (links) en vergaderzaal (rechts) [48]



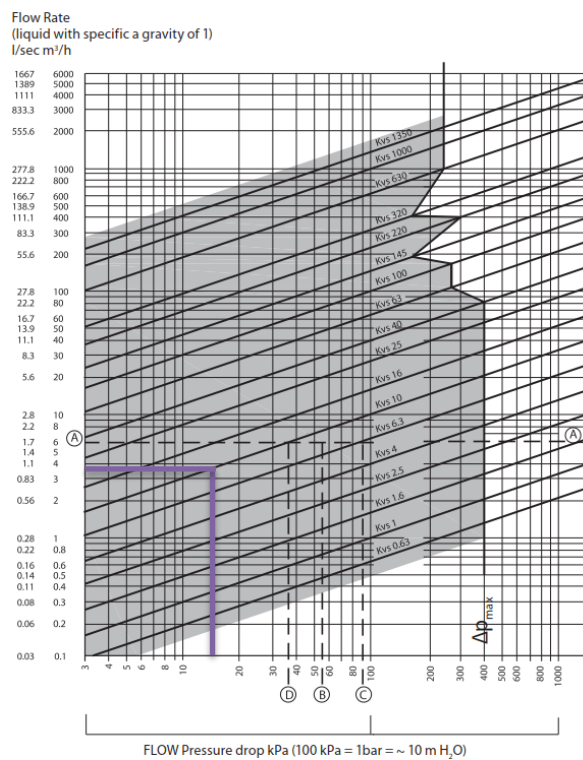
Figuur 74: Drukval regelventiel collector kleedruimte twee (links) en magazijn (rechts) [48]

Drukval driewegkranen

In onderstaande grafieken (zie Figuur 75 en Figuur 76) worden de drukval over de driewegkranen bepaald.



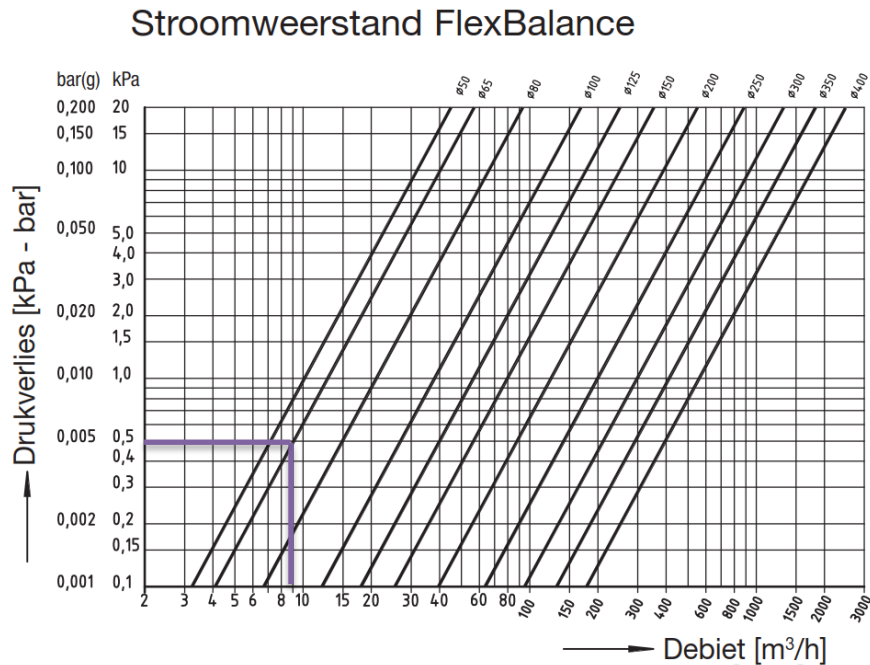
Figuur 75: Drukval driewegkraan gelijkvloers (links) en eerste verdieping (rechts) [49]



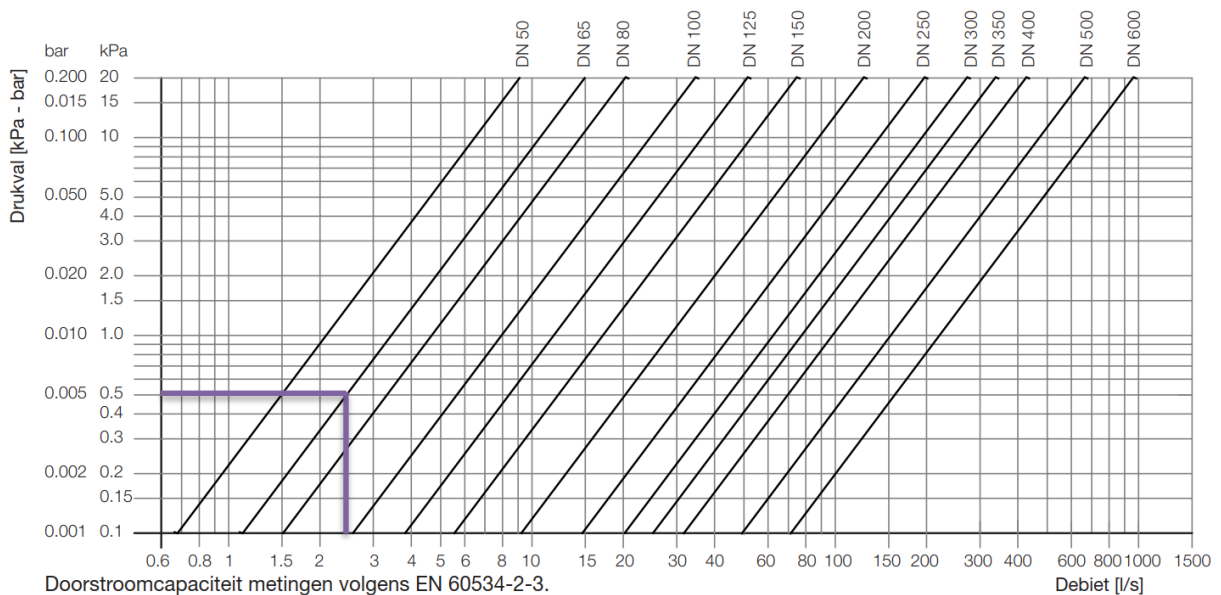
Figuur 76: Drukval driewegkraan magazijn [50]

Drukval evenwichtsfles, ontluchter en vuilafscheider

In de onderstaande grafieken (zie Figuur 77 en Figuur 78) worden de drukval over de evenwichtsfles, ontluchter en vuilafscheider bepaald.



Figuur 77: Drukval evenwichtsfles [51]



Figuur 78: Drukval over ontluchter en vuilafscheider [52]

Leidingverliezen

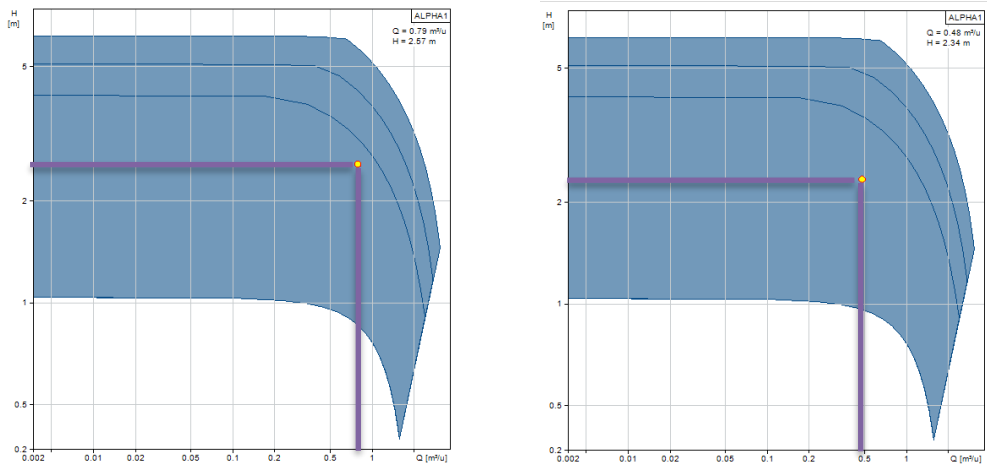
In de onderstaande tabel (zie Tabel 76) worden de leidingverliezen berekend.

Tabel 76: Leidingverliezen [74]

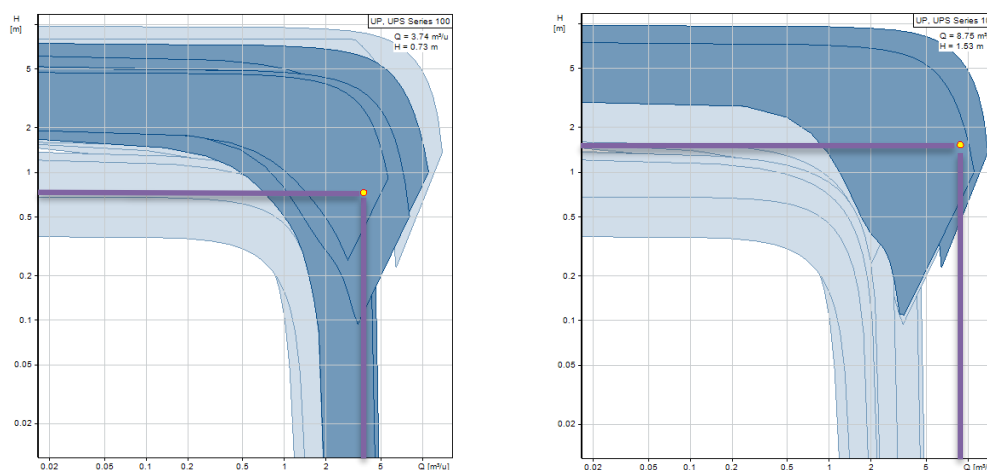
λ	0,024	[/]		λ	0,024	[/]
L	64,15	[m]		L	64,15	[m]
D	0,0272	[m]		D	0,0272	[m]
ρ_{water}	1000	[kg/m ³]		ρ_{water}	1000	[kg/m ³]
v_{bureel}	0,60905784	[m/s]		v_{bureel}	0,609057842	[m/s]
$p_{w,\text{aanvoer,bureel}}$	10296,04	[Pa]		$p_{w,\text{afvoer,bureel}}$	10296,04	[Pa]
λ	0,024	[/]		λ	0,024	[/]
L	5	[m]		L	5	[m]
D	0,053	[m]		D	0,053	[m]
ρ_{water}	1000	[kg/m ³]		ρ_{water}	1000	[kg/m ³]
$v_{\text{aanvoer,maga}}$	0,47	[m/s]		$v_{\text{afvoer,maga}}$	0,47	[m/s]
$p_{w,\text{aanvoer,maga}}$	245,86	[Pa]		$p_{w,\text{afvoer,maga}}$	245,86	[Pa]
λ	0,024	[/]				
L	5	[m]				
D	0,069	[m]				
ρ_{water}	1000	[kg/m ³]				
v_{hoofd}	0,65	[m/s]				
$p_{w,\text{hoofd}}$	365,50	[Pa]				

Bijlage I: Circulatiepompen

In de onderstaande grafieken (zie Figuur 79 en Figuur 80) wordt het werkingpunt van de pompen weergegeven.



Figuur 79: Pompkarakteristiek bureel gelijkvloers (links) en eerste verdieping (rechts) [75]



Figuur 80: Pompkarakteristiek magazijn één, twee (links) en hoofdpomp (rechts) [76]

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Ontwerpen van warmterecuperatiesysteem in de testruimte voor stroomaggregaten tot 600kVA

Richting: **master in de industriële wetenschappen: elektromechanica**
Jaar: **2018**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Schouteden, Tom

Datum: **1/06/2018**