

UNIVERSITEIT ANTWERPEN

Academiejaar 2021-2022

Faculteit Toegepaste Ingenieurswetenschappen

Casestudy Ecodroom

Jef De Dycker

David Jansen

Siemen Kiebooms

Siebe Op de Beeck

Dries Van Hoegaerden

Quinten Van Kerkhoven

Universiteit Antwerpen

**Master of Science in de
industriële wetenschappen: elektromechanica**

INHOUD

HOOFDSTUK 1: INLEIDING.....	6
1.1 Caseomschrijving.....	6
1.2 Doel	6
HOOFDSTUK 2: WARMTE-, KOEL- EN SWW-VRAAG	7
2.1 Warmtevraag.....	7
2.1.1 Een formule opstellen voor de totale warmtevraag in functie van de buitentemperatuur	7
2.1.2 Warmtevraagprofiel, belastingsduurcurve en pieklast	9
2.2 Koelvraag.....	10
2.2.1 Een formule opstellen voor de totale koelvraag in functie van de buitentemperatuur	10
2.2.2 Koelvraagprofiel, belastingsduurcurve en pieklast.....	12
2.3 SWW.....	13
HOOFDSTUK 3: CONCEPTUALISATIE	15
3.1 Algemene aannames concepten	15
3.1.1 Afgifte en zones.....	15
3.1.2 Leidingen	16
3.1.3 Norm.....	16
3.2 Huidig systeem.....	18
3.2.1 WARMTEPRODUCTIE: WKK	18
3.2.2 Warmteproductie: condenserende gasketel.....	19
3.2.3 WARMTEAFGIFTE: APPARTEMENT	19
3.2.4 Sensitiviteitsanalyse warmteproductie	20
3.3 Concept 1.....	22
3.3.1 Vierpijpswarmtepomp: koelen + verwarmen	22
3.3.2 Productie sanitair warm water.....	24
3.3.3 Warmteafgifte: Changeover	25
3.3.4 Analyse.....	25
3.4 Concept 2.....	28
3.4.1 Vierpijpswarmtepomp: koelen + verwarmen	28
3.4.2 Warmteproductie: zonnecollectoren.....	28
3.5 Analyse	30
3.5.1 Verwarming	30
3.5.2 Koeling	30
3.5.3 SWW	31
3.6 Concept 3.....	33
3.6.1 Opbouw en regeling van het model	33
3.6.2 Analyse.....	36
3.7 Concept 4.....	41
3.7.1 Opbouw en regeling van het model	41
3.7.2 Analyse.....	42
HOOFDSTUK 4: VERGELIJKING CONCEPTEN	43
HOOFDSTUK 5: BESPREKING EINDUNITS	45
5.1 Vloer	45
5.2 Plafond.....	46

5.3	Ventilo-convectoren.....	47
	HOOFDSTUK 6: BESLUIT.....	48
	LITERATUURLIJST	49
	APPENDIX	A

FIGURENLIJST

Figuur 1: Platte grond gebouw.....	6
Figuur 2: warmtevraagprofiel.....	9
Figuur 3: belastingsduurcurve voor warmtevraag.....	9
Figuur 4: koelvraagprofiel.....	12
Figuur 5: belastingsduurcurve voor koelvraag.....	12
Figuur 6: tapprofiel van alle gezinnen samen.....	13
Figuur 7: cumulatieve curve.....	13
Figuur 8: afgiftesysteem klein en groot appartement.....	15
Figuur 9: zone klein appartement.....	15
Figuur 10: Parameters leidingen.....	16
Figuur 11: Gelijktijdigheidsfactor sanitair i.f.v. ontwerpdebiet.....	16
Figuur 12: Gelijktijdigheidsfactor ruimteverwarming i.f.v. aantal huishoudens.....	17
Figuur 13: vereenvoudigde weergave van het huidig concept.....	18
Figuur 14: aansluiting van de WKK.....	18
Figuur 15: aansluiting van de gasboiler.....	19
Figuur 16: aansluiting van het afgiftesysteem.....	20
Figuur 17: ruimtetemperatuurverloop in de winter (links) en in de zomer (rechts).....	21
Figuur 18: vereenvoudigde weergave van concept 1.....	22
Figuur 19: sturingsschema van de vierpijpswarmtepomp.....	23
Figuur 20: regeling van het buffervat voor SWW.....	24
Figuur 21: afgiftesysteem voor sanitair water.....	24
Figuur 22: Changeoversysteem.....	25
Figuur 24: gemiddelde ruimtetemperatuur in de zomer bij een warmtepomp van 8 kW (links) en 9 kW (rechts).....	26
Figuur 23: gemiddelde ruimtetemperatuur in de winter bij een warmtepomp van 8 kW (links) en 9 kW (rechts).....	26
Figuur 25: temperatuurverloop in het buffervat bij een boosterwarmtepomp van 3kW (links) en 6 kW (rechts).....	27
Figuur 26: temperatuurverloop van SWW na de warmtewisselaar voor een boosterwarmtepomp van 3kW (links) en 6 kW (rechts).....	27
Figuur 27: vereenvoudigde weergave van concept 2.....	28
Figuur 28: regeling van de zonnecollectoren.....	29
Figuur 29: regeling van het buffervat voor SWW.....	29
Figuur 30: gemiddelde ruimtetemperatuur in de winter bij een warmtepomp van 7 kW (links) en 6 kW (rechts).....	30
Figuur 31: gemiddelde ruimtetemperatuur in de zomer bij een kleinere inertie (links) en grotere inertie (rechts).....	31
Figuur 32: temperatuurverloop van SWW na de warmtewisselaar voor zonnecollectoren in winter (links) en zomer (rechts).....	32
Figuur 33: temperatuurverloop van SWW in het buffervat in winter (links) en zomer (rechts).....	32
Figuur 34: Regeling van het buffervat.....	33
Figuur 35: productie van SWW met booster warmtepomp.....	34
Figuur 36: regeling van vloerverwarming als afgiftesysteem.....	34
Figuur 37: aansluiting voor verwarming van de 9 appartementen.....	35

Figuur 38: gemiddelde ruimtetemperatuur in de winter bij een warmtepomp van 5 kW (links) en 7 kW (rechts).....	36
Figuur 39: temperatuurverloop in het buffervat bij een boosterwarmtepomp van 3kW (links) en 6 kW (rechts).....	37
Figuur 40: temperatuurverloop van SWW na de warmtewisselaar voor een boosterwarmtepomp van 3kW (links) en 6 kW (rechts).....	38
Figuur 41: ruimtetemperatuurverloop gedurende eerste 2 weken van augustus	38
Figuur 42: COP-verloop voor een lucht/water warmtepomp (links) en een grond/water warmtepomp (rechts).....	40
Figuur 43: regeling van de koelmachine + buffervat en de productie van SWW.....	41
Figuur 44: regeling ruimtetemperatuur.....	41
Figuur 45: buitentemperatuur en ruimtetemperatuur bij een koelvermogen van 3 kW.....	42

TABELLENLIJST

Tabel 1: overzicht van de interne warmtelasten.....	11
Tabel 2: buffervolume en vermogen per rechte	14
Tabel 3: vergelijking type warmtepompen.....	39
Tabel 4: Vergelijking verschillende concepten	43
Tabel 5: Convectievermogens groot appartement.....	47
Tabel 6: Convectievermogens klein appartement.....	47

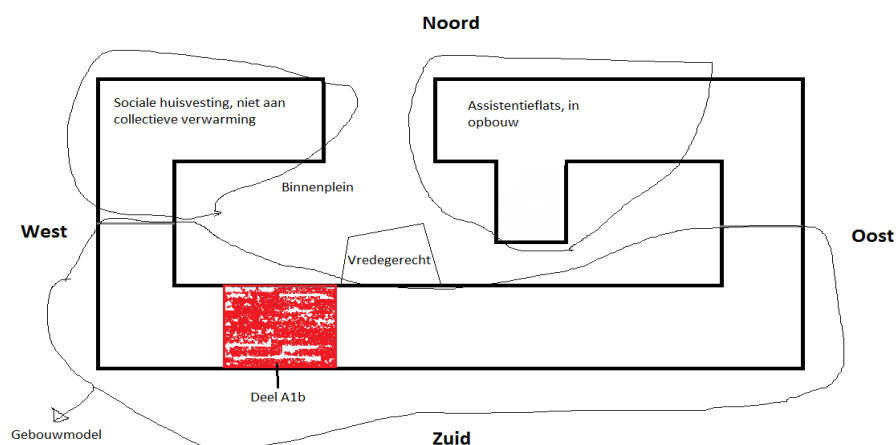
Hoofdstuk 1: INLEIDING

In het kader van het vak II-Duurzame warmte werkten 6 studenten van de afstudeerrichting industrieel ingenieur met specialisatie energie deze case uit. De case is gebaseerd op een bestaand gebouw dat in de onderzoeksgroep EMIB vaker wordt gehanteerd voor testen van nieuwe simulatietools. Het onderdeel “caseomschrijving” licht de voorgeschotelde opdracht toe.

1.1 Caseomschrijving

Bij de start van deze opdracht kregen we de case “Ecodroom” aangereikt. Dit is een bestaand gebouw in Geel. EMIB gebruikt de gegevens van het gebouw vaak bij het testen van nieuwe simulatiemodellen en is ook betrokken in verder onderzoek rond dit woonproject. Verder onderzoek vertaalt zich in het bekijken van problemen met het gebouw die optreden in de praktijk.

In deze case wordt gewerkt met een deel van het bouwproject Ecodroom: Deel A1b zoals te zien in figuur 1. Deel A1b omvat negen appartementen verdeeld over drie verdiepen. Elk verdiep is identiek, opgebouwd uit twee kleinere appartementen van 88m² en één groter appartement van 104m².



Figuur 1: Platte grond gebouw

1.2 Doel

Zoals eerder vermeld, bekijkt de onderzoeksgroep optredende problemen in het gebouw. Zo ervaren de bewoners bijvoorbeeld niet altijd evenveel comfort wat de ruimtetemperatuur betreft. Hierbij ligt de nadruk vooral op te hoge ruimtetemperaturen in de zomer.

De opdracht die we kregen voorgeschoteld, bestaat erin enkele concepten voor het dekken van de koel-, warmte- en SWW-vraag te ontwikkelen en bestuderen. Hierbij is comfort van belang, maar ook het energetisch en financieel aspect dienen onder de loep te worden genomen. Vervolgens vergelijkt dit onderzoek uiteindelijk de verschillende ontwikkelde concepten. Daaruit volgt tot slot een besluit dat het meest geschikte concept voorlegt.

Hoofdstuk 2: WARMTE-, KOEL- EN SWW-VRAAG

2.1 Warmtevraag

De warmtevraag van het gebouw wordt geschat op basis van verschillende factoren namelijk: gebouwschil, buitentemperatuur, interne warmtewinsten en ventilatiedebiet. De berekening gebeurt in twee stappen, eerst wordt een formule opgesteld waarbij enkel de buitentemperatuur variabel is. De andere factoren zijn hier constant of worden uitgedrukt in functie van de temperatuur. De tweede stap beschrijft de warmtevraag voor het temperatuurverloop van een jaar. Hieruit volgt de pieklast en de belastingsduurcurve. Aangezien het gebouw goed geïsoleerd is, wordt de warmtevraag bij buitentemperaturen hoger dan 12 graden gelijk gesteld aan nul.

2.1.1 Een formule opstellen voor de totale warmtevraag in functie van de buitentemperatuur

WARMTETRANSPORT DOOR DE GEBOUWSCHIL

Het warmtetransport Q door de wand wordt beschreven met onderstaande formule:

$$Q = UA * (T_{buiten} - 17^{\circ}C) \quad (1)$$

Hierbij stelt de U-waarde de warmtedoorlatingscoëfficiënt voor, A het warmtewisselend oppervlak T_{buiten} de buitentemperatuur in graden Celsius en als gemiddelde binnentemperatuur wordt 17 °C gekozen. Normaliter wenst men een gemiddelde temperatuur van 20 °C maar om de invloeden van de interne warmtewinsten mee in rekening te brengen, stellen we de binnentemperatuur in op 17 °C. Bovendien treedt het gebouw zelf, omwille van een relatief hoge inertie, op als temperatuurbuffer. Met als gevolg zou, in het geval van 20°C binnentemperatuur, de warmtevraag overschat worden. Belangrijk is het teken van de uitkomst, wanneer het warmtetransport positief is wordt dit gezien als gewonnen warmte voor het appartement, een negatieve waarde is warmteverlies naar de omgeving.

Het warmtewisselend oppervlak omvat de totale oppervlakte waar het verwarmde volume in contact komt met de buitentemperatuur. Dit is de voorgevel, achtergevel en het dak. De appartementsblok staat langs beide zijden tegen een andere appartementsblok waarvan de binnentemperatuur ook 20 °C wordt verondersteld, hierdoor zal er geen warmteverlies zijn door deze wanden. Hetzelfde geldt voor de onderste vloer die grenst aan een winkel. Het totale warmtewisselend oppervlak bedraagt 882,3 m².

De U-waarde wordt berekend uit de weerstand van de isolatieschil met volgende formule:

$$U = \frac{1}{R_{gemiddeld}} \quad (2)$$

Om de gemiddelde weerstand van de schil te bepalen wordt voor elk oppervlak met eenzelfde schil de R-waarde bepaald en vermenigvuldigd met het percentage van het totale oppervlak dat dit oppervlak inneemt. De gemiddelde R-waarde is dan de som van deze R-waarden. De gebruikte formule wordt de volgende:

$$R_{\text{gemiddeld}} = \sum R_i * f_i, \text{ met } f_i = \frac{A_i}{A_{\text{tot}}} \quad (3)$$

De berekende gemiddelde R-waarde bedraagt $5,52 \frac{m^2K}{W}$, hieruit volgt een gemiddelde U-waarde van $0,181 \frac{W}{m^2K}$. Aangezien de formule met een temperatuurverschil werkt kan de eenheid graden Kelvin naar graden Celsius veranderd worden (het temperatuurverschil blijft even groot).

De formule voor warmtetransport wordt:

$$Q = 0,181 \frac{W}{m^2C} * 882,3 m^2 * (T_{\text{buiten}} - 17^\circ C) \quad (4)$$

VENTILATIEVERLIEZEN

De ventilatieverliezen zijn afhankelijk van twee factoren, namelijk het ventilatiedebiet en de buitentemperatuur. Het ventilatiedebiet bedraagt volgens EPB 730 m^3/h per verdiep. In praktijk ligt dit debiet lager op ongeveer 219 m^3/h per verdiep wat voor een totaal ventilatiedebiet van 657 m^3/h zorgt. Het ventilatieverlies wordt bijgevolg met volgende formule berekend:

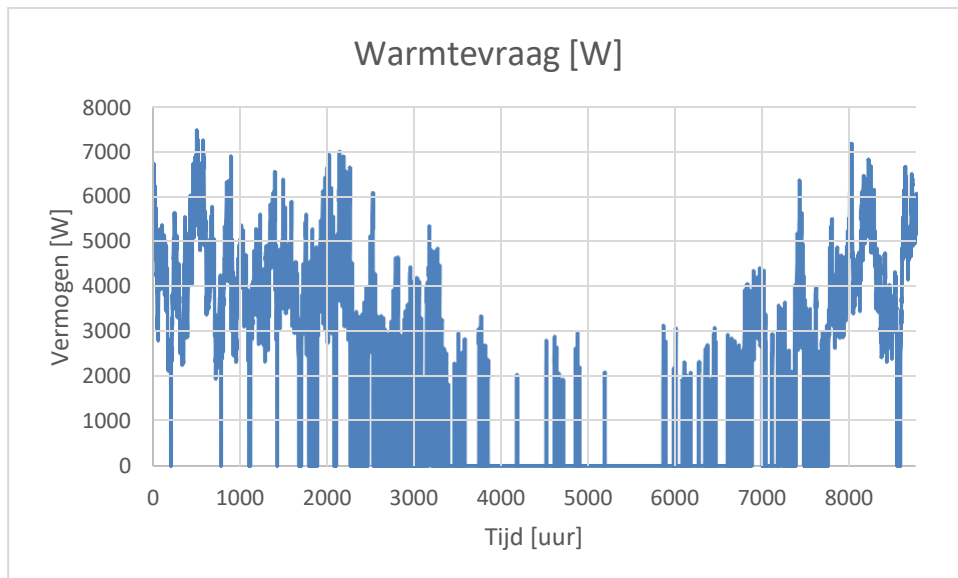
$$Q_{\text{vent}} = V_{\text{vent}} * \rho_{\text{lucht}} * c_{p,\text{lucht}} * (17^\circ C - T_{\text{buiten}}) \quad (5)$$

Hieruit volgt:

$$\frac{Q_{\text{vent}}}{m^3} = 657 \frac{m^3}{3600 \text{ sec}} * 1200 \frac{kg}{m^3} * 1,2 \frac{W}{kgK} * (17^\circ C - T_{\text{buiten}}) \quad (6)$$

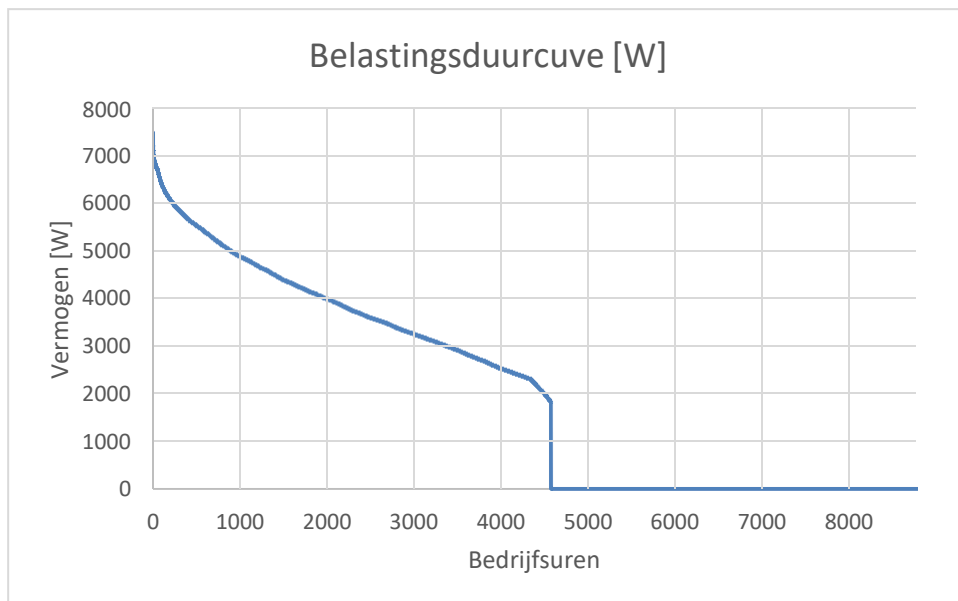
2.1.2 Warmtevraagprofiel, belastingsduurcurve en pieklast

WARMTEVRAAGPROFIEL



Figuur 2: warmtevraagprofiel

BELASTINGSDUURCURVE



Figuur 3: belastingsduurcurve voor warmtevraag

PIEKLAST

De pieklast van de warmtevraag bedraagt 7481 W

2.2 Koelvraag

De werkwijze voor het bepalen van de koelvraag is analoog aan de werkwijze voor het bepalen van de warmtevraag. Om de juiste koelvraag te simuleren, werden alle warmtelasten (winsten en verliezen) in kaart gebracht. Zo bepaalden we de stralingslasten, transmissielasten, ventielasten en interne warmtelasten. Vervolgens werden al deze lasten samengeteld tot een totale koellast voor de negen appartementen.

We rekenden een vermogen positief aan wanneer het dient weggekoeld te worden om de setpunttemperatuur aan te houden. Onder de volgende punten worden alle lasten afzonderlijk besproken.

2.2.1 Een formule opstellen voor de totale koelvraag in functie van de buitentemperatuur

GEBRUIKTE WEERFILE

De stralingslasten, transmissielasten en ventilatielasten zijn berekend vanuit een weerfile. Om de stralingslasten te berekenen, dient de zonnestraling op het vlak van het glas gekend te zijn. Om de transmissielasten en ventilatielasten te bepalen, is de buitentemperatuur nodig voor de berekening. In de gebruikte weerfile [1] staan de vorige twee benodigde grootheden weergegeven per uur gedurende een jaar. Daardoor kunnen we de koelvraag per uur voor een geheel jaar bepalen.

STRALINGSLASTEN

Voor het bepalen van de warmtelasten afkomstig van de zon is er gebruik gemaakt van de bovenstaand beschreven weerfile. Hieruit zijn de invallende vermogens per vierkante meter gehaald voor elk uur. Door deze vermogens te vermenigvuldigen met de raamoppervlakte van elk appartement alsook de g-waarde van het raam, welke 0,3 bedraagt. We hebben de vereenvoudiging gemaakt door enkel de ramen op de zuidelijke gevel in rekening te brengen aangezien de ramen op de noordelijke gevel een kleinere totale oppervlakte hebben en enkel straling door middel van diffusie zullen krijgen. Door deze vereenvoudiging hebben we aangenomen dat het aandeel van de zonnewinsten op de noordelijke gevel klein zal zijn ten opzichte van deze op de zuidelijke gevel. Opvallend is dat de vermogens in de winter beduidend kleiner zijn dan deze in de zomer. Ook het aantal uren dat er zonnewinsten zijn in de winter ligt lager dan in de zomer wat logisch is aangezien er minder uren zijn in de winter dan in de zomer.

TRANSMISSIELASTEN

De transmissiewinsten en verliezen werden bepaald door gebruik te maken van de formule:

$$Q = UA \cdot \Delta T \quad (7)$$

De waarden voor de warmtedoorgangscoefficiënt U en de oppervlakte A werden gehaald uit de ons bezorgde documenten. Voor het bepalen van de ΔT is er opnieuw gebruik gemaakt van de weerfile. Hier zijn de temperaturen per uur gebruikt en het setpunt voor koeling is op 24 °C gekozen.

VENTIELASTEN

De ventilatiewinsten en verliezen werden bepaald met behulp van volgende formule:

$$Q = \rho * V * c_p * \Delta T \quad (8)$$

Voor de ventilatiedebieten werden de debieten gebuikt die werden opgegeven in het bezorgde document rond deze case. Voor het bepalen van de ΔT is er opnieuw gebruik gemaakt van de weerfile. Hier zijn de temperaturen per uur gebruikt en het setpunt voor koeling is op 24°C gekozen.

INTERNE WARMTELASTEN

De interne warmtewinsten vinden hun oorsprong in warmte die in het appartement wordt ontwikkeld door bijvoorbeeld elektrische huishoudelijke apparatuur of de aanwezigheid van personen.

Allereerst werd de aanwezigheid van personen in rekening genomen. Daarvoor werd uitgegaan van een aanwezigheidsprofiel van de bewoners in het appartement [2]. Overdag werd een hoger metabolisme aangerekend dan 's nachts.

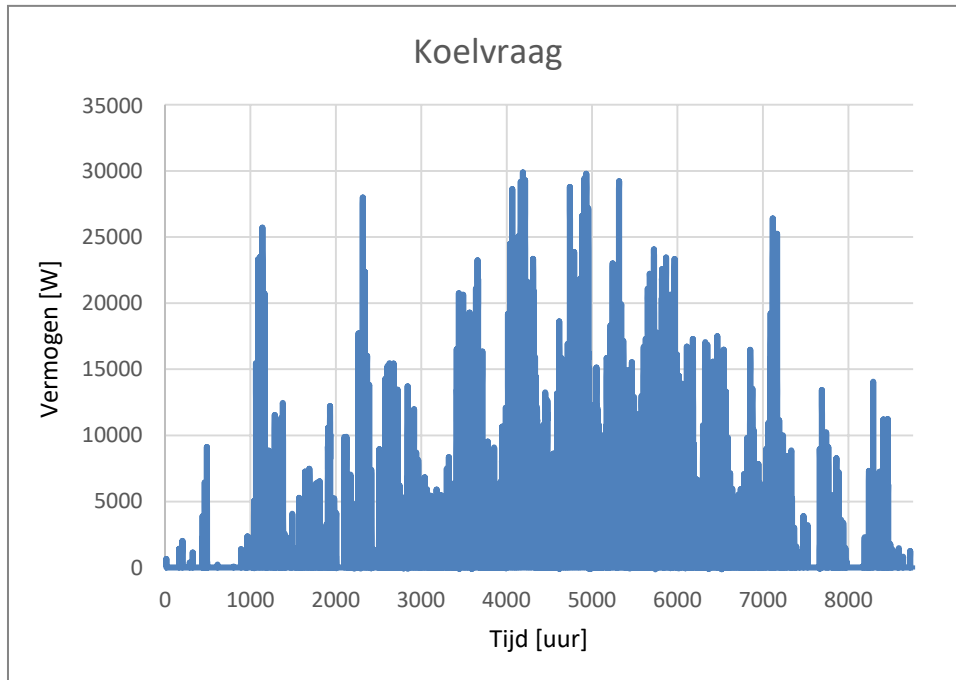
Om de warmtewinsten ten gevolge van elektrische apparaten in het huishouden te modelleren, stelden we onderstaande tabel op. De tabel geeft in de eerste kolom het apparaat. In de tweede kolom wordt een gemiddeld vermogen voor het apparaat gegeven. De laatste kolom geeft aan hoeveel uur op een dag dit apparaat gebruik wordt. Vanuit de tabel werd een week opgedeeld per uur. Voor elk uur werd dan aangegeven welke apparaten dan zouden werken. Daaruit kon dan een geproduceerd vermogen per uur worden opgesteld gedurende een week. Als vereenvoudiging van de werkelijkheid werd deze week 52 keer gekopieerd om een jaar te modelleren.

	Vermogen	uren/dag
Diepvries	20 W	24 uur per dag
Koelkast	17 W	24 uur per dag
Fornuis	2 kW verbruik per kookpit	1 uur per dag
Microgolfoven	1 kW verbruik	10 minuten per dag
Elektrische oven	2 kW verbruik	1u per 3 dagen
Frituurketel	1,5 kW verbruik	1u per week
Dampkap	150W	1 uur per dag
Koffiezet	750W	10 minuten per dag
wasmachine	1 kWh/beurt	1 per 2 dagen
Strijkijzer	1,5 uur per 7 dagen	
PC + scherm	30W	2 uur per dag
PC + scherm waakstand	3W	22 uur per dag
TV (94 cm)	17W	2 uur per dag
TV waakstand (94 cm)	3W	22 uur per dag
Digicorder	18W	2 uur per dag
Digicorder waakstand	13W	22 uur per dag
Verlichting	13kWh/maand	

Tabel 1: overzicht van de interne warmtelasten

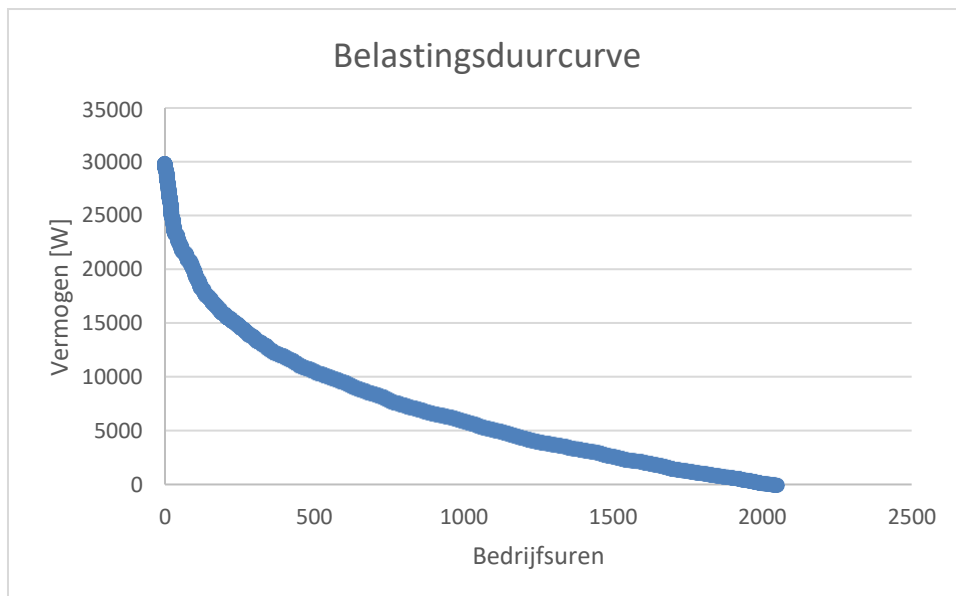
2.2.2 Koelvraagprofiel, belastingsduurcurve en pieklast

KOELVRAAGPROFIEL



Figuur 4: koelvraagprofiel

BELASTINGSDUURCURVE



Figuur 5: belastingsduurcurve voor koelvraag

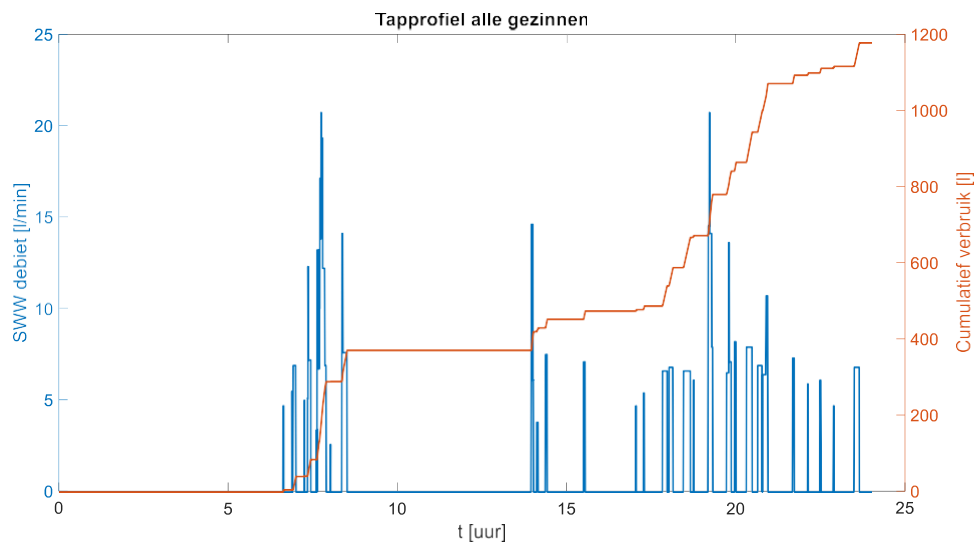
PIEKLAST

De pieklast van de koelvraag bedraagt 29,75 kW. Omdat dit een absolute piek is, werd ook het gemiddeld koelvermogen per dag berekend. Vervolgens werd het maximaal benodigde gemiddelde koelvermogen van een dag over en heel jaar er uit gefilterd. Dat getal is 9,2 kW, wat dan ook vanaf nu als benodigd koelvermogen wordt gehanteerd.

2.3 SWW

Het dimensioneren van productiesystemen voor SWW is afhankelijk van het type systeem. Bij doorstroomsystemen moet het vermogen afgestemd zijn op het piekdebiet van de gebruiker. Daartegenover staat accumulatie aan de hand van een buffervat waardoor het mogelijk wordt om de opwarming van het water te spreiden. Dit leidt tot een kleiner vermogen. Hieronder worden enkele grafieken en berekeningen voor een gecombineerd systeem voorgesteld. Hierbij is zowel doorstroom als accumulatie aanwezig en moet een optimum tussen buffercapaciteit en vermogen gezocht worden. Met behulp van de Instal2020 profielgenerator is een verbruiksprofiel per appartement voor een heel jaar opgesteld [3]. De dag waarop collectief het SWW-verbruik het grootst is, wordt hieruit gehaald. In onderstaande figuur wordt het tapprofiel, voor alle gezinnen samen, weergegeven waarop zowel het SWW-debiet [l/min] als het cumulatief verbruik [l] te zien is.

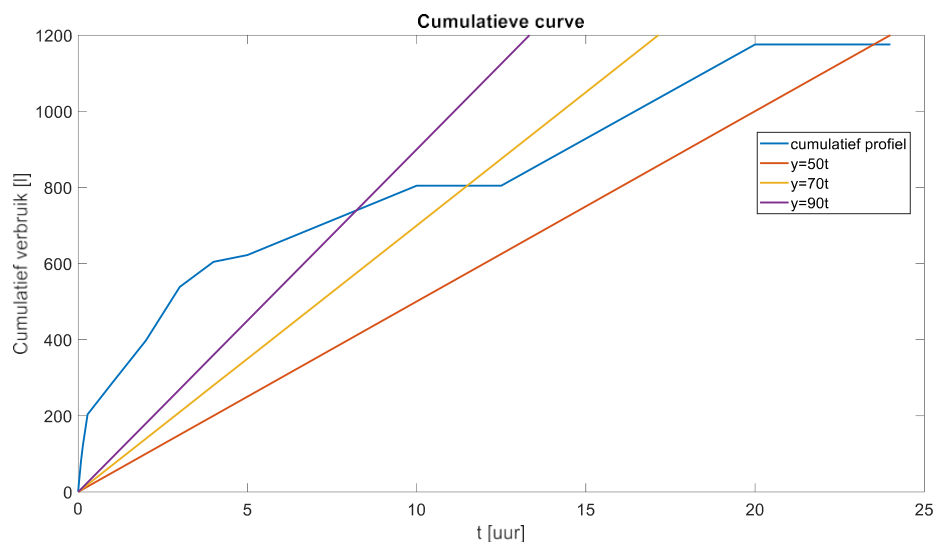
TAPPROFIEL ALLE GEZINNEN SAMEN



Figuur 6: tapprofiel van alle gezinnen samen

Voor correcte dimensionering moet rekening gehouden met de 'worst case'. Daarom wordt een cumulatief profiel opgesteld. Dit profiel bevat het maximaal volume per tijdsinterval [4].

CUMULATIEVE CURVE



Figuur 7: cumulatieve curve

Het vermogen kan bepaald worden met de formule voor voelbare warmte:

$$P = V * \rho * c * (T_{SWW} - T_{koud\ water}) \quad (9)$$

Om het buffervat te dimensioneren wordt gekeken naar het maximale verschil waarbij de rechte onder het cumulatief profiel ligt. Dit maximale verschil is het buffervolume. In onderstaande tabel zijn het buffervolume en vermogen voor de gegeven rechten uitgerekend. Hierbij is rekening gehouden met $\Delta T = T_{SWW} - T_{koud\ water} = 60 - 10 = 50$. De SWW-temperatuur in een boiler moet 60 °C zijn, dit zodat men legionellaproductie kan tegengaan.

rechte	buffervolume [l]	vermogen [kW]
y = 50t	404,45	2,92
y = 70t	328,75	4,08
y = 90t	268,75	5,25

Tabel 2: buffervolume en vermogen per rechte

Om een warmtewisselaar te dimensioneren moet men rekening houden met de gevraagde debieten. Een warmtewisselaar wordt gebruikt bij een ogenblikkelijke SWW productie of voor het verminderen van het legionellabesmettingsrisico. Een gevolg hiervan is dat men de temperatuur van het SWW kan beperken tot 45 °C met technische water, men moet wel rekeninghouden met de ΔT van de warmtewisselaar zelf. Het technisch water zal dan extra verwarmd worden tot 50 °C, die men dan over een warmtewisselaar stuurt die per appartement het SWW zal opwarmen. Het benodigd vermogen kan berekend worden aan de hand van de formule voor voelbare warmte en we moeten hier het piekdebiet voor gebruiken. Voor een piekdebiet van 21 [l/min] hebben we een vermogen nodig van 52,9 kW. Dit piekvermogen kan beperkt worden met een buffervat met technisch water.

Hoofdstuk 3: CONCEPTUALISATIE

3.1 Algemene aannames concepten

3.1.1 Afgifte en zones

Zoals aangetoond in hoofdstuk 2, hebben we een piekkoelvraag van 9120 W en een piekwarmtevraag van 7481 W voor de 9 appartementen. Er zijn echter 6 kleinere appartementen van 88 m² en 3 grotere van 104 m². Als de lasten herrekend worden per appartement, hebben de kleinere een koelvraag van 920 W en een warmtevraag van 750 W (figuur 8 links). De grotere hebben een koelvraag van 1200 W en een warmtevraag van 970 W (figuur 8 rechts).

The figure shows two side-by-side screenshots of a software interface for configuring HVAC units. Both are titled 'Changeover end unit'.

Left Screenshot (Small Apartment):

- P&ID identifier: C1/B845
- Regime in heating mode: 33.0/23.0/20.0°
- Design power in heating mode: 0.75 kW
- Regime in cooling mode: 12.0/22.0/24.0°
- Design power in cooling mode: 0.92 kW
- KV value: 100

Right Screenshot (Large Apartment):

- P&ID identifier: C1/B941
- Regime in heating mode: 33.0/23.0/20.0°
- Design power in heating mode: 0.97 kW
- Regime in cooling mode: 12.0/22.0/24.0°
- Design power in cooling mode: 1.2 kW
- KV value: 100

Figuur 8: afgiftesysteem klein en groot appartement

Bij de belangrijkste parameters voor de zones werd gekozen voor een design load van -50%, een “rather heavy” gebouwstructuur en een zuidelijke raamorientatie. Echter werd opgemerkt dat bij het ingeven van het raamoppervlak, de zonnenwinsten enorm overschat werden. Zo werden er ruimtetemperaturen van 70 °C bekomen als de juiste raamoppervlakte ingevoerd werd. Om realistische zonnenwinsten te verkrijgen, werden de raamoppervlakten op lagere waarden geforceerd.

The figure shows a screenshot of a software interface for configuring zone parameters. The title is 'Zones'.

- Zone name: [empty field]
- Design load: -50.0%
- Volume: 264m³
- Building structure: Rather heavy
- Winter indoor climate: 20°C/50%
- Winter outdoor climate: -10°C/90%
- Window area: 0.6 m²
- Window U-value: 1 W/m²K
- Window orientation: South
- Heat losses/gains: table:0;0;0.1;0;0
- Heat losses/gains ratio of design load: 10 %

Figuur 9: zone klein appartement

3.1.2 Leidingen

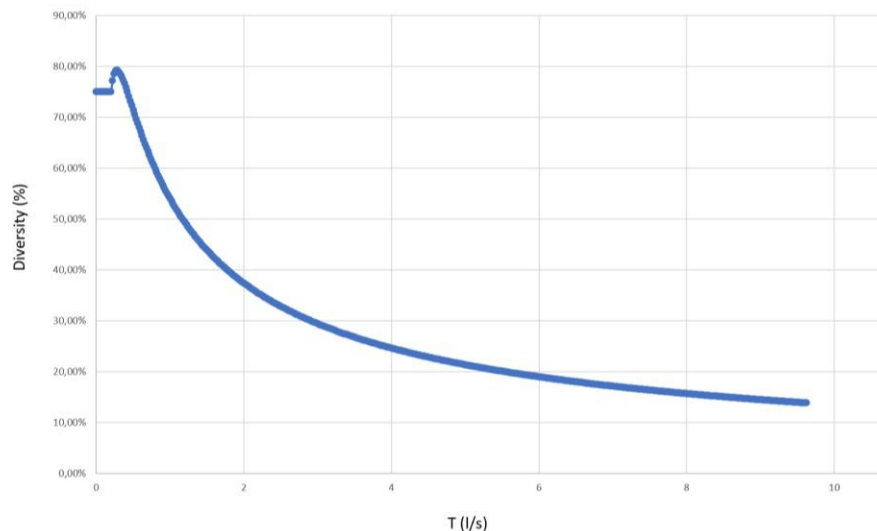
In dit project hebben we in Hysopt geopteerd voor een niet perfecte leidingisolatie om zo de leidingsverliezen in rekening te brengen. We hebben voor de zwaarste isolatie klasse (klasse 6) gekozen. De isolatie waarden hebben we laten berekenen met een uitwendige temperatuur van 20°C, de software berekend voor elke leidingsectie een eigen waarde. De leidingen voor verwarming en koeling hebben natuurlijk andere isolatie waarden aangezien het temperatuurverschil anders is.

Pipe	
Pipe type	Steel pipe (welded) ▼
Pipe diameter	DN 50 ▼ 🔒
Pipe length	3 m 🔒
Insulation	Class 6 (20°C) ✎ 🔒
ζ-value	<input type="text"/>
Length surplus p...	<input type="text"/> %

Figuur 10: Parameters leidingen

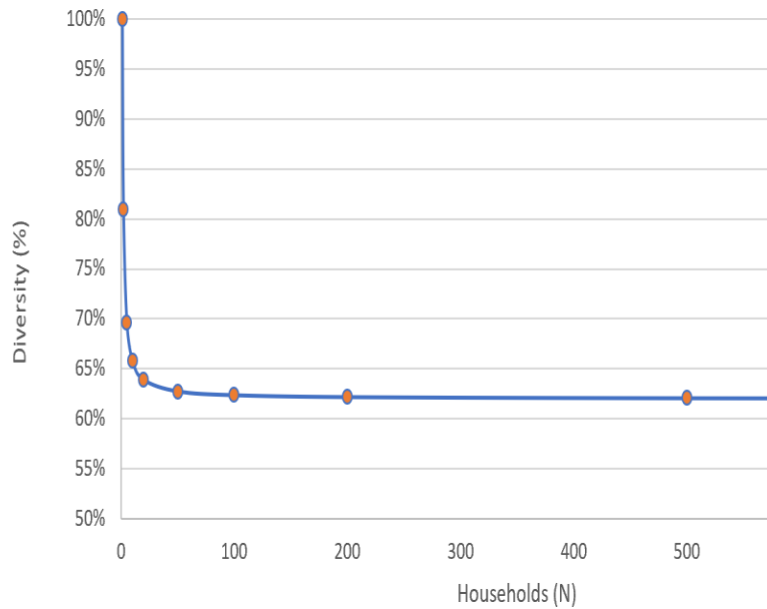
3.1.3 Norm

De norm voor SWW die we in Hysopt gebruiken is gebaseerd op de norm DIN 1988-330 voor appartementen. Deze norm berekend een gelijktijdigheidsfactor voor het SWW verbruik van heel het gebouw. De gebruikte formule is: $a * (T)^{(b - c)} / T$, waarbij T de som is van de ontwerpdebieten van alle individuele tappunten. Voor appartementen bedragen de andere parameters : $a = 1.48$, $b=0.19$, $c=0.94$. Op de onderstaande grafiek kan men de waarde zien van gelijktijdigheidsfactoren in functie van het debiet. Men kan dus concluderen dat bij hogere debieten er minder kans is dat deze zullen voorkomen.



Figuur 11: Gelijktijdigheidsfactor sanitair i.f.v. ontwerpdebiet

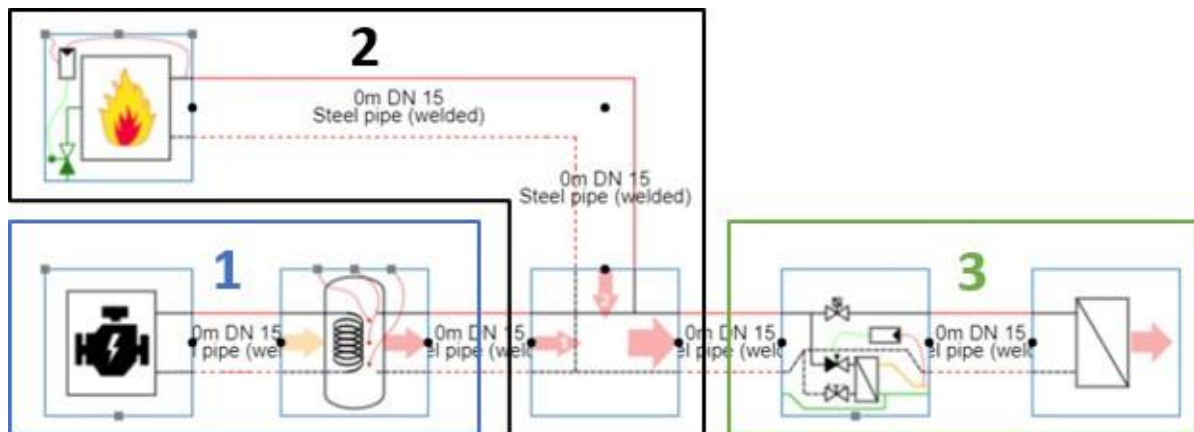
De norm die we gebruikt hebben voor ruimteverwarming is gebaseerd op de norm CIBSE CP1 2020 (Heat Network Code of Practice for UK). De gelijktijdigheidsfactor wordt hier berekend met de volgende formule: $0,62 + 0,38/N$, waarbij N het aantal huishoudens is. Op de onderstaande figuur kan men afleiden dat deze factor een hyperbolische verloop heeft en dat naar mate het aantal huishoudens stijgt dat de gelijktijdigheid omlaag gaat. In dit project bedraagt deze factor 66,2%.



Figuur 12: Gelijktijdigheidsfactor ruimteverwarming i.f.v. aantal huishoudens

3.2 Huidig systeem

Het huidig concept bestaat uit een hybride warmteproductie door enerzijds een WKK en anderzijds drie gasketels. Twee gasketels hiervan zijn condenserende ketels van 110 kW, de derde ketels is ook een condenserende gasketel maar deze heeft een hoger vermogen van 130 kW. De WKK is gedimensioneerd om 39 kW thermische vermogen en 20 kW elektrisch vermogen te leveren. De WKK voedt een buffervat met een inhoud van 2000 liter. De figuur hieronder geeft een vereenvoudigde weergave van het systeem waarbij één condenserende gasketel parallel wordt geplaatst met de WKK.

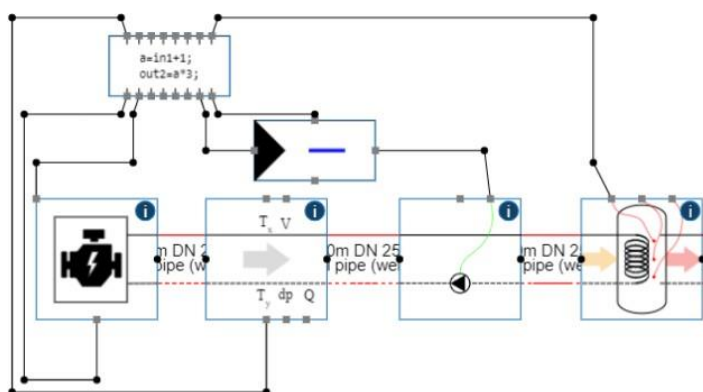


Figuur 13: vereenvoudigde weergave van het huidig concept

Per appartement wordt een satelliet unit gebruikt voor de distributie van SWW en verwarmingswater. De satelliet units hebben één warmtewisselaar, deze wordt gebruikt om het SWW op te warmen. De warmteafgifte aan de ruimte gebeurt op basis van radiatoren die op het temperatuurregime 60/30 °C werken.

In onderstaande paragrafen wordt een meer gedetailleerde voorstelling van de verschillende blokken (1,2 en 3) in het P&ID schema gegeven.

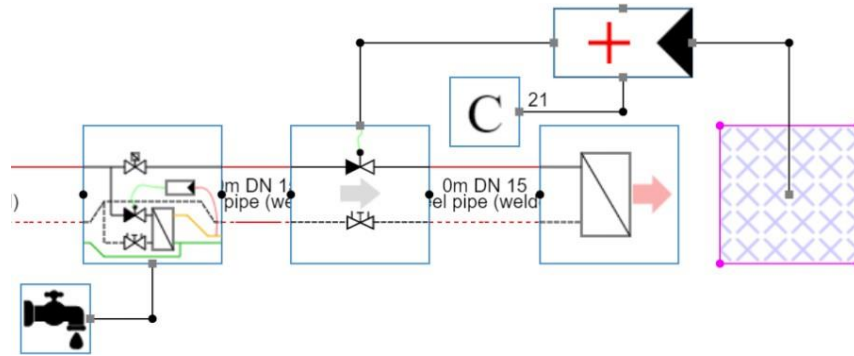
3.2.1 WARMTEPRODUCTIE: WKK



Figuur 14: aansluiting van de WKK

De regeling van de WKK is te complex om met de standaard Hysopt blokken te maken waardoor het interessanter is om dit met een programmeerbare controller te doen. De sturingslogica kan inwendig in deze controller geprogrammeerd worden. Omdat het om een complexe regeling gaat is de regeling uit de Hysopt-bibliotheek overgenomen [5]. De warmte die de WKK produceert,

wordt via een warmtewisselaar in het buffervat uitgewisseld met het technisch water van de CV kring. De WKK houdt het buffervat dus op temperatuur.



Figuur 16: aansluiting van het afgiftesysteem

Het sanitair water wordt opgewarmd via een warmtewisselaar. Het debiet aan SWW is afhankelijk van het aantal tappunten en kan eenvoudig ingegeven worden in de 'Standard Tap Profile Generator'.

3.2.4 Sensitiviteitsanalyse warmteproductie

THERMISCH VERMOGEN WKK

Door het thermisch vermogen te variëren blijkt 39 kW ruim teveel te zijn. Daarom worden verschillende lagere vermogens overlopen tot 15 kW. De operatiekost stijgt hierdoor, alsook het energieverbruik en de CO₂-uitstoot. De installatiekostprijs daalt wel sterk, om te bepalen welk vermogen effectief het voordeligste uitkomt is deze kostprijs nodig voor de verschillende vermogens. Bij een vermogen van 15 kWh stijgt de operationele kostprijs met 8% per jaar. Het aantal draaiuren van de WKK stijgt van 1500 (bij 39 kW) naar 4600. De WKK levert ook aan dit vermogen de volledige warmtevraag. Voor de verdere analyses wordt 15 kW gebruikt als thermisch vermogen van de WKK.

GEÏNSTALLEERD BOILERVERMOGEN

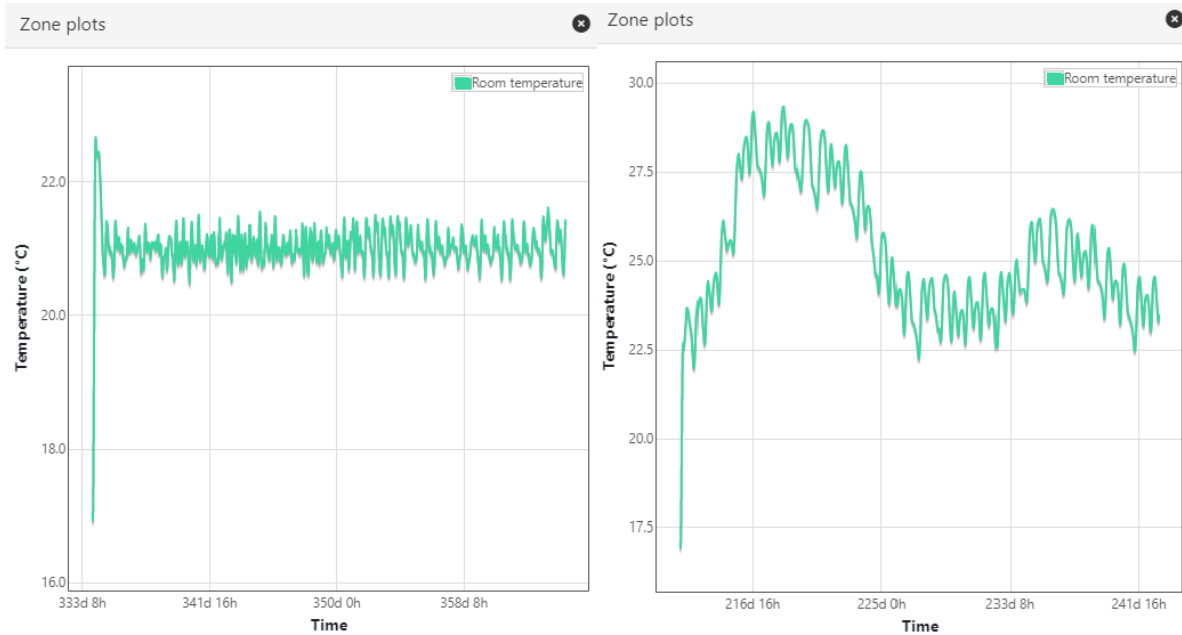
Het totale geïnstalleerde boilervermogen bedraagt 350 kW, een geïnstalleerd boilervermogen van 10 kW volstaat echter om de installatie te voeden. De jaarlijkse operationele kostprijs stijgt hierdoor wel met 10% omdat de WKK een lager percentage van de warmtelast voorziet en bijgevolg minder elektriciteit wordt opgewekt.

INHOUD BUFFERVAT

Ook de inhoud van het buffervat blijkt sterk overgedimensioneerd. Hierdoor gaat veel vermogen verloren om het vat warm te houden. Het ideale volume van het vat is 650 liter, bij dit volume is het aantal draaiuren van de WKK sterk hoger waardoor het primair energieverbruik halveert en de operationele kostprijs sterk daalt.

Het optimale gebruik van dit concept is bijgevolg met een WKK van 15 kW, een gasboiler van 10 kW en een buffervat van 650 liter.

Op figuur 17 is het verloop van de kamertemperatuur van het appartement A1b/22 zichtbaar. Dit voor zowel december 2021 (links) als augustus 2021 (rechts). In de winter schommelt de temperatuur rond de wenswaarde van 21°C. In de zomer daarentegen wordt de waarde van 24°C, wat als comfortgrens wordt aanzien, vaak overschreden. Om de binnentemperatuur onder de grenswaarde van 24°C te houden, moet koeling voorzien worden. Daarom worden in de volgende paragrafen enkele concepten voorgesteld waarbij koeling wel voorzien wordt. Bovendien wordt ook gekeken of een andere manier van warmteproductie mogelijk is.

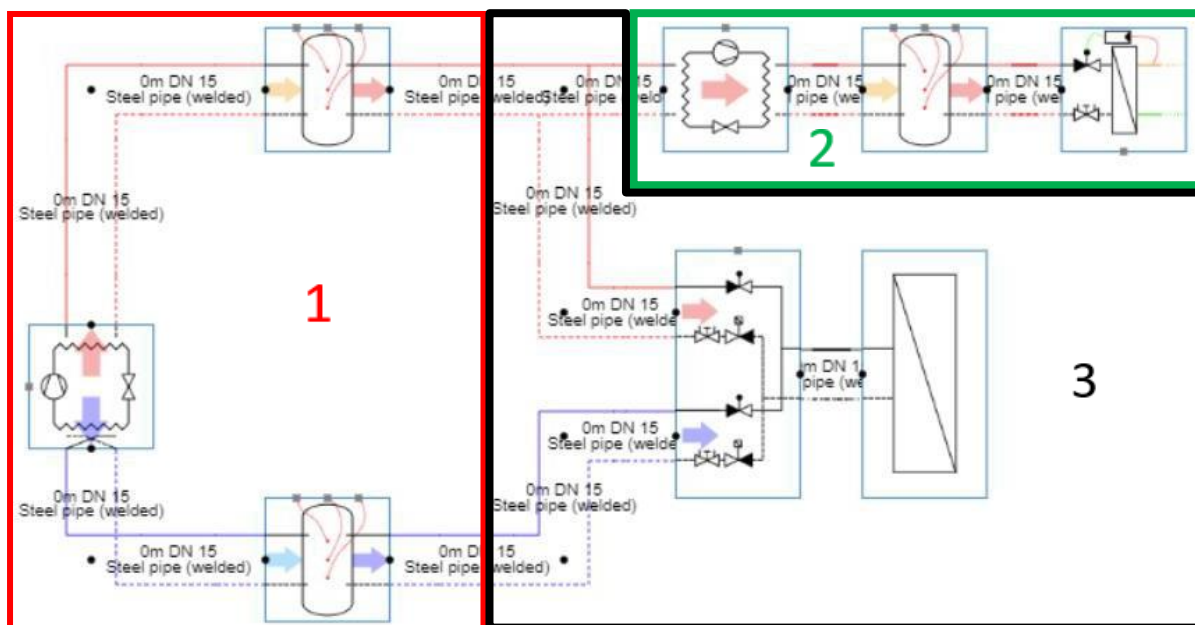


Figuur 17: ruimtetemperatuurverloop in de winter (links) en in de zomer (rechts)

3.3 Concept 1

Dit concept maakt gebruik van een vierpijpswarmtepomp, dit is een warmtepomp die zowel kan koelen als verwarmen. Voor de productie van sanitair warm water maakt men gebruik van een boosterwarmtepomp die technisch water verwarmt tot 50 °C en deze dan opslaat in een buffervat, hierdoor is het risico op legionellabesmetting drastisch verminderd. Het gebruikte regime is 50/40°C. Per appartement staat er een satellietstation opgesteld dat doormiddel van een warmtewisselaar het sanitaire water opwarmt tot 45 °C.

De ruimte wordt geconditioneerd door vloerverwarming/koeling die gebruik maakt van een changeoversysteem, dit wil zeggen dat het afgifte systeem zowel kan koelen als verwarmen en hiervoor ook dezelfde leidingen gebruikt. Het changeoversysteem wordt gevoed van de centrale technische ruimte met twee leidingen voor warm water en twee leidingen voor koud water. Het regime voor verwarmen is 33/23 °C en voor koelen hebben we 12/22 °C.



Figuur 18: vereenvoudigde weergave van concept 1

In onderstaande paragrafen wordt een meer gedetailleerde voorstelling van de verschillende blokken (1,2 en 3) in het P&ID schema gegeven.

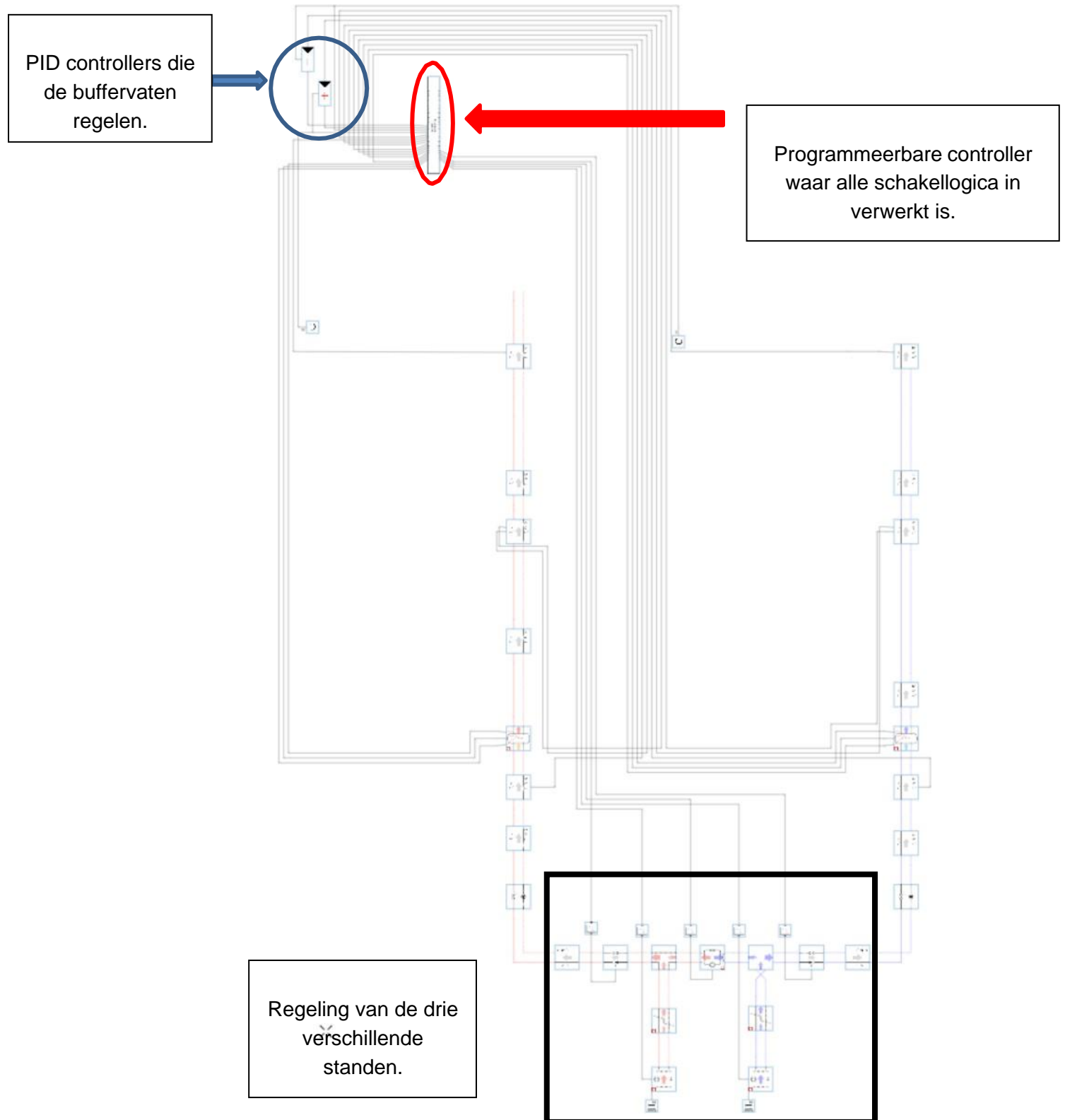
3.3.1 Vierpijpswarmtepomp: koelen + verwarmen

Voor de vierpijpswarmtepomp hebben we gekozen voor een lucht/water warmtepomp, in principe is het ook mogelijk om met een geothermische warmtebron te werken maar deze zal de installatiekost zeer hard beïnvloeden. Aangezien we in België nog in de kinderschoenen staan omtrent Warmtenetten leek het ons financieel niet interessant om te werken met een geothermische warmtepomp. In de toekomst als de uitrol van warmtenetten van de 4/5^{de} generatie (lage temperatuur warmtenetten) in België zou het wel de moeite zijn om een water/water warmtepomp te gebruiken.

Deze Warmtepomp kan in drie standen geschakeld worden, afhankelijk van de energievraag van het gebouw: enkel verwarmen, enkel koelen en verwarmen + koelen. De regeling van de vierpijpswarmtepomp is te complex om met de standaard Hysopt blokken te maken waardoor het interessanter is om dit met een programmeerbare controller te doen. De sturingslogica kan inwendig in deze controller geprogrammeerd worden.

Omdat het om een complexe regeling gaat is de regeling verkregen van Hysopt die de regeling voor ons in een controller gestoken heeft.

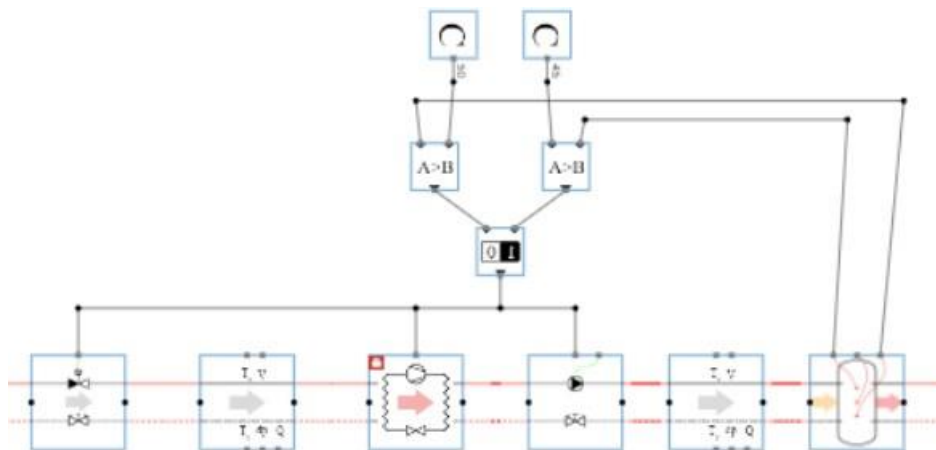
Er is een buffervat voor zowel verwarming (wordt geregeld op 33°C) als koeling (wordt geregeld op 12°C). Op het onderstaand schema staat het hele sturingsschema van de vierpijpswarmtepomp met daarbij uitleg over bepaalde componenten.



Figuur 19: sturingsschema van de vierpijpswarmtepomp

3.3.2 Productie sanitair warm water

Voor de productie van sanitair warm water (SWW) gebruiken we een water/water booster warmtepomp om het water afkomstig van de primaire warmtepomp op de juiste temperatuur te brengen. Het gebruikte regime voor het technisch water is 50/40 °C. De boosterwarmtepomp wordt on/off geschakeld om zo het buffervat op de juiste temperatuur te houden. De boosterwarmtepomp wordt aan geschakeld als de temperatuur in het vat daalt tot 45°C en wordt uit geschakeld als de grenswaarde van 50 °C bereikt wordt.



Figuur 20: regeling van het buffervat voor SWW

Zoals reeds vermeld wordt het sanitair water verwarmd tot 45 °C doormiddel van een warmtewisselaar per appartement. Deze warmtewisselaar wordt geregeld door een PID controller die mee in de component verwerkt zit en eenvoudig ingesteld kan worden binnenin de software. Het SWW verbruik wordt gegenereerd door een standaard tapprofielgenerator, waarvoor we enkel het aantal tappingsen moeten opgeven.

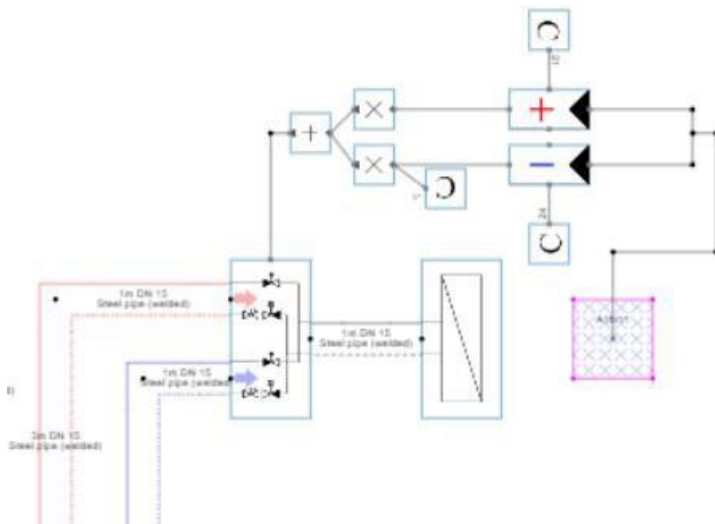
Daarnaast maken we ook gebruik van een overstort ventiel dat ervoor zorgt dat het water in de leiding op temperatuur blijft en men dus niet moet wachten alvorens de leiding op temperatuur is. Dit zorgt voor minder lange wachttijden en dus een hoger comfort.



Figuur 21: afgiftesysteem voor sanitair water

3.3.3 Warmteafgifte: Changeover

De regeling van de changeover wordt met twee PI controllers gedaan. Wanneer de binnentemperatuur onder 21°C is, zal het changeoversysteem warm CV water doorlaten naar het afgiftesysteem. Analoog zal, wanneer de binnentemperatuur boven 24°C is, de changeover koud technisch water naar het vloersysteem doorlaten. Het grote voordeel van een changeoversysteem per appartement is dat er een beter comfort gegarandeerd kan worden. Zo kan het ene appartement verwarmd worden terwijl in een ander koeling voorzien is.



Figuur 22: Changeoversysteem

3.3.4 Analyse

In dit onderdeel worden de invloeden van het vermogen van de 4-pijps warmtepomp, de grootte van de buffervaten voor koeling en verwarming, het vermogen van de boosterwarmtepomp en de grootte van het buffervat voor productie van sanitair warm water.

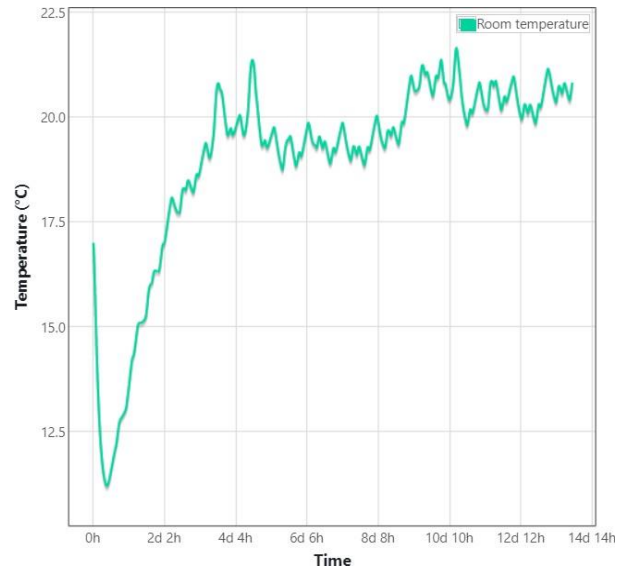
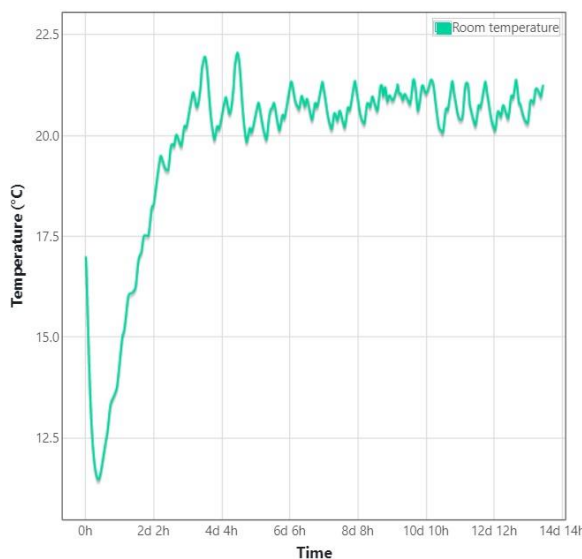
Het totale te installeren vermogen voor verwarming van de 9 appartementen samen bedraagt 7410 W volgens onze voorgaande berekeningen. Hierdoor werd de primaire warmtepomp geschat op een vermogen van 7,4 kW. Voor het buffervat na de primaire warmtepomp werd er gekozen voor een volume van 1 m³ (1000L). Het totale te installeren vermogen voor koeling van de 9 appartementen samen bedraagt 9120 W volgens onze voorgaande berekeningen. Hierdoor werd de primaire warmtepomp geschat op een vermogen van 9,1 kW. Voor het buffervat na de primaire warmtepomp werd er gekozen voor een volume van 0.5 m³ (500L).

Uit de simulaties en sensitiviteitsanalyse volgt dat er een groter vermogen nodig is voor de verwarming van de ruimten dan voor de koeling ervan. Omdat er met een 4-pijps warmtepomp wordt gewerkt, is het hoogst benodigde vermogen bepalend. In dit geval is dat het vermogen voor verwarming, dat 9 kW bedraagt. De 4-pijps warmtepomp heeft dus een vermogen van 9 kW. De daarbij horende buffervaten zijn idealiter zowel voor koeling als verwarming 0,5m³ groot.

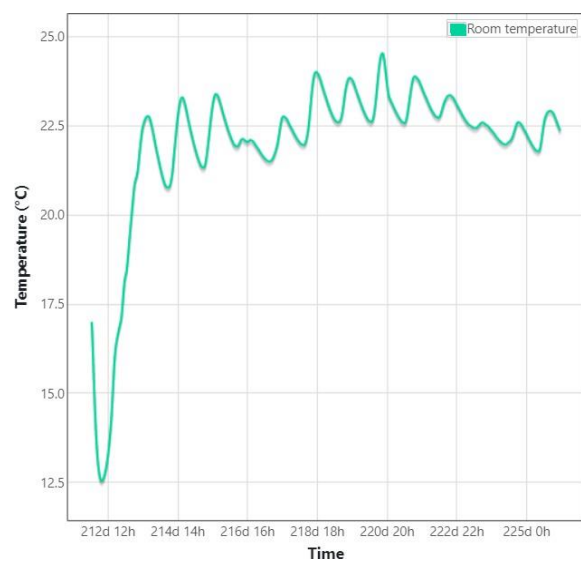
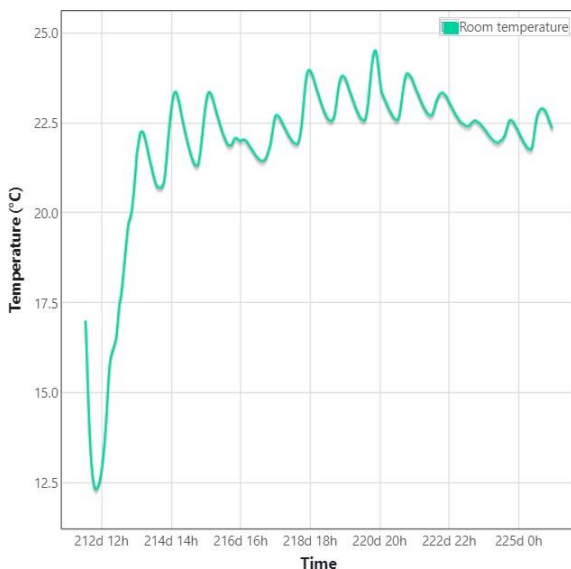
Voor de productie van sanitair warm water blijkt een boosterwarmtepomp met een vermogen van 6 kW te volstaan. Het daar bijhorende buffervat dient 1,5 m³ groot te zijn.

In figuur 23 wordt weergegeven dat een vermogen van 8 kW te weinig is wat betreft verwarming. 9 kW aan vermogen voor de warmtepomp is wel voldoende om de warmtevraag te dekken en dus een voldoende hoge kamertemperatuur te bereiken.

Figuur 24 geeft de temperatuur van de ruimten weer in de zomer. Hier zien we dat 8 kW aan vermogen al zou volstaan om een goed binnenklimaat te verkrijgen. Zoals eerder vermeld, bepaalt in dit geval het vermogen voor verwarming het vermogen van de warmtepomp.

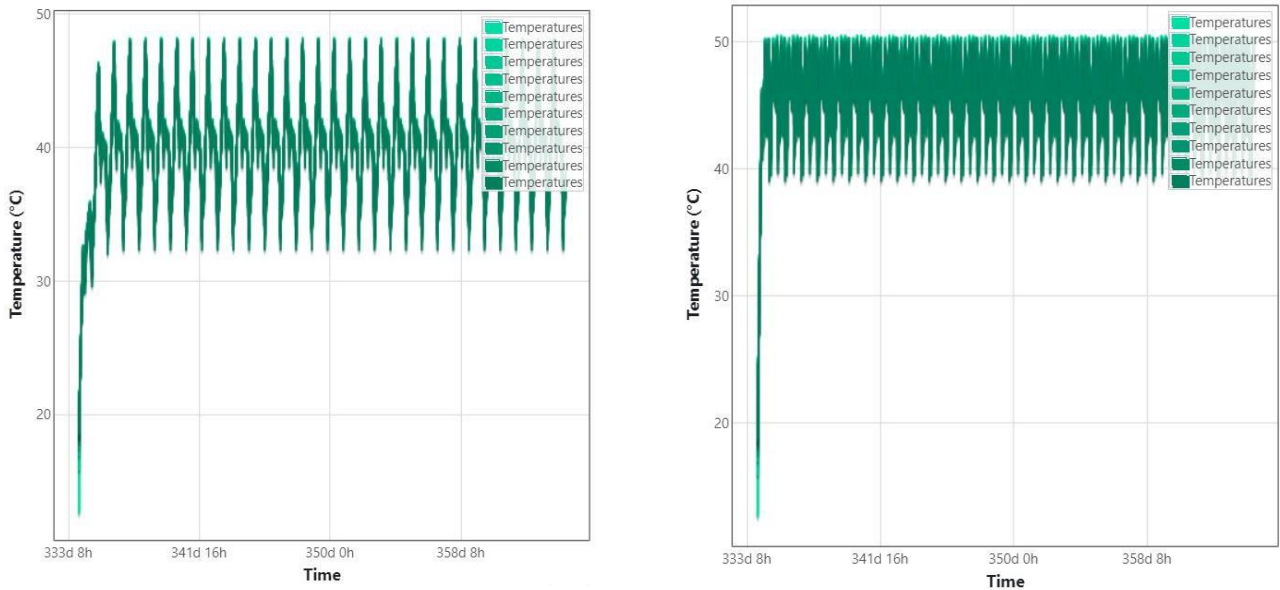


Figuur 24: gemiddelde ruimtetemperatuur in de winter bij een warmtepomp van 8 kW (links) en 9 kW (rechts)



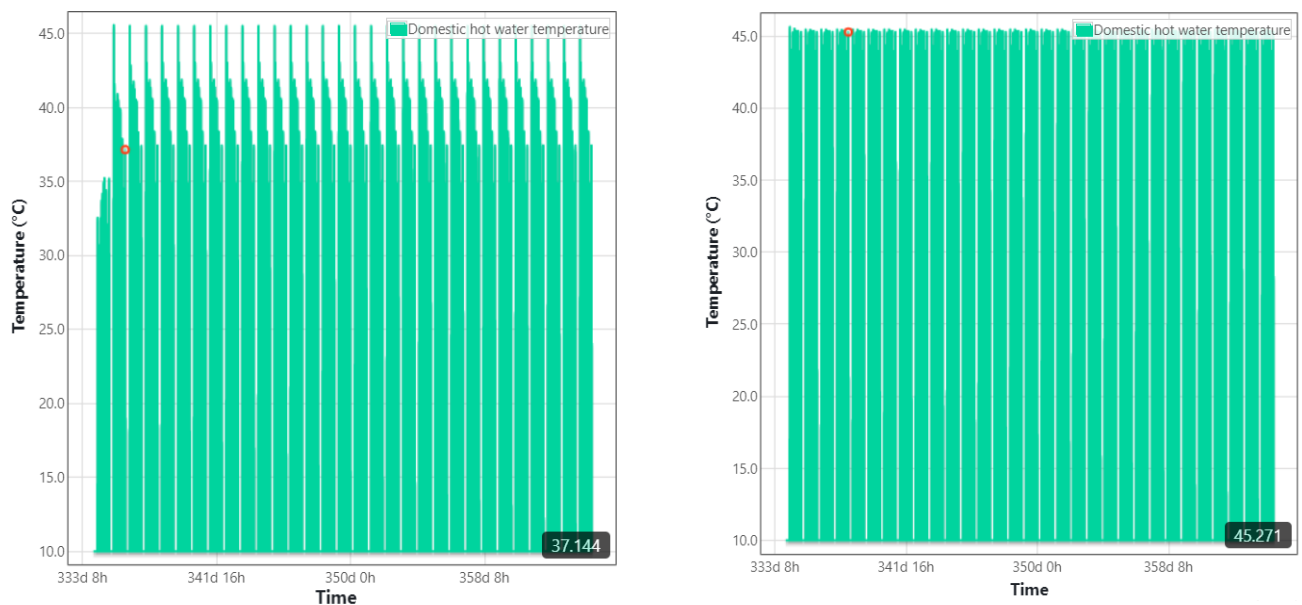
Figuur 23: gemiddelde ruimtetemperatuur in de zomer bij een warmtepomp van 8 kW (links) en 9 kW (rechts)

Figuur 25 toont het verloop van het warm water na de booster warmtepomp. Links valt het temperatuurverloop van het technisch water, dat de warmtewisselaar voor sanitair warm water voedt, waar te nemen bij een booster warmtepomp van 3 kW. Hierbij valt duidelijk op dat er grote temperatuurschommelingen zijn. Daarnaast bereikt het technisch water nooit de gevraagde 50°C. In de grafiek rechts daarentegen, zijn voorgaande problemen verholpen. Hierbij heeft de booster warmtepomp een vermogen van 6 kW, wat wel voldoende is.



Figuur 25: temperatuurverloop in het buffervat bij een boosterwarmtepomp van 3kW (links) en 6 kW (rechts)

Figuur 26 toont tot slot de temperatuur van het sanitair warm water. Dat is de temperatuur na de warmtewisselaar. Hier geeft de linker grafiek de temperatuur van het sanitair warm water weer bij boosterwarmtepompvermogen van 3 kW. De rechter figuur geeft hetzelfde weer bij een boosterwarmtepompvermogen van 6 kW. Ook hier valt logischerwijs op de een vermogen van 3 kW niet volstaat voor de productie van sanitair warm water. Vanaf een vermogen van 6 kW is dat wel het geval.

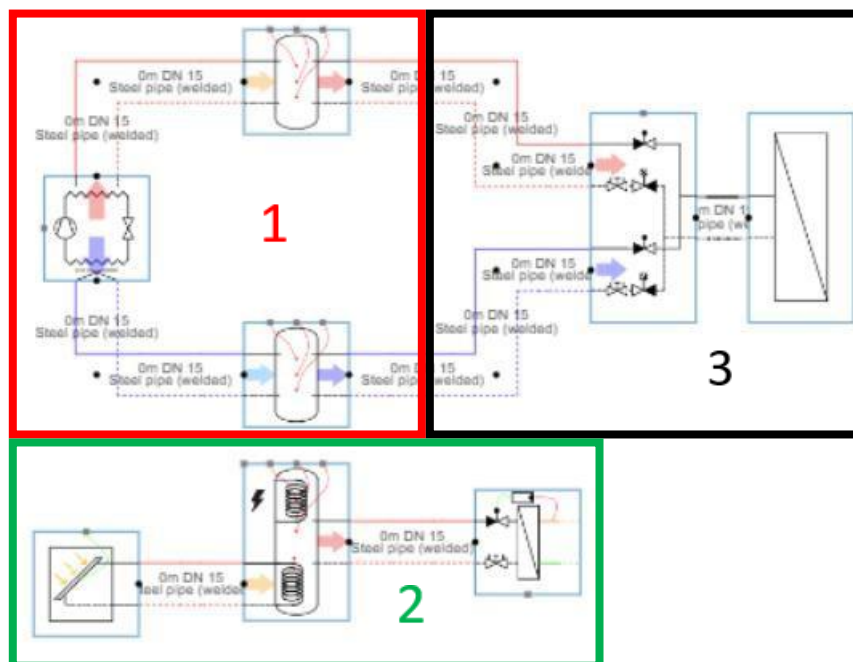


Figuur 26: temperatuurverloop van SWW na de warmtewisselaar voor een boosterwarmtepomp van 3kW (links) en 6 kW (rechts)

3.4 Concept 2

Het tweede concept bestaat net als het eerste concept uit een 4-pijps warmtepomp. Deze warmtepomp staat, in tegenstelling tot het vorig concept, enkel in voor de koeling en verwarming van de appartementen. De werking en sturing van de warmtepomp is identiek aan het vorige concept, om vergelijkingen mogelijk te maken.

Thermische zonnepanelen, ook wel collectoren genoemd, staan in voor de productie van sanitair warm water. De collectoren voeden een buffervat uitgerust met een elektrische weerstand. Op die manier wordt de beschikbaarheid van SWW op een voldoende hoge temperatuur ten allen tijden gegarandeerd.



Figuur 27: vereenvoudigde weergave van concept 2

3.4.1 Vierpijpswarmtepomp: koelen + verwarmen

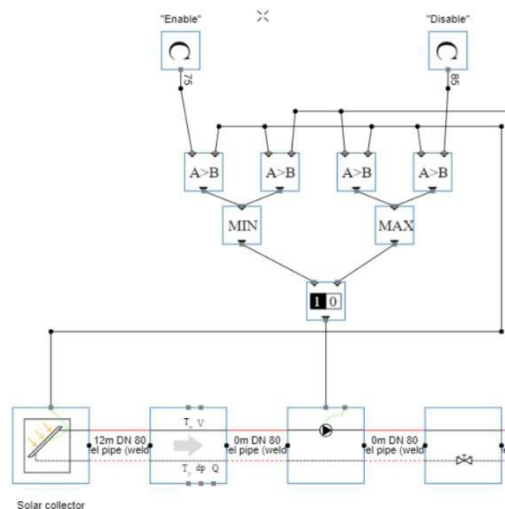
De vierpijpswarmtepomp is reeds uitgelegd in paragraaf 3.3.1.

3.4.2 Warmteproductie: zonnecollectoren

In de zomer kunnen het temperatuur van het technisch water sterk oplopen, hiervoor moeten we een beveiliging voorzien. In de winter leveren de collectoren niet genoeg warmte om het buffervat op temperatuur te krijgen, hiervoor hebben we een elektrische weerstand geïntegreerd in het buffervat die het buffervat op temperatuur moet houden. Een vorst beveiliging is niet inbegrepen in het systeem om dat niet mogelijk is in Hysopt. Men kan wel de pomp naar het buffervat laten stil vallen als de watertemperatuur richting het vriespunt zakt, maar dit zal de sturing veel te complex maken.

3.4.2.1 Temperatuurbegrenzing

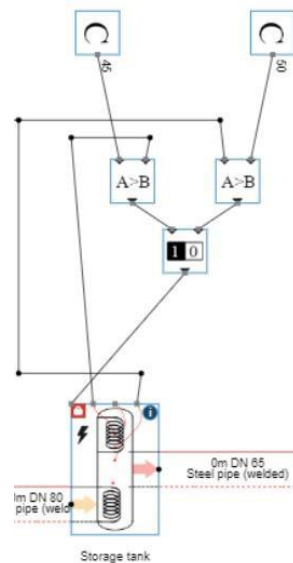
De temperatuur van het water in de collectoren wordt beperkt tot 85 °C, dit wordt geregeld met een on/off schakeling van de circulatiepomp. Als de temperatuur groter wordt 85 °C dan zal de pomp uitgeschakeld worden, als dan de temperatuur zakt onder de 75 °C dan pas zal de pomp terug vrijgegeven worden.



Figuur 28: regeling van de zonnecollectoren

3.4.2.2 Warmteproductie: elektrische verwarmingsweerstand

Het buffervat is gedimensioneerd op 50 °C omdat we werken met platenwarmtewisselaars voor SWW. In het buffervat zit een geïntegreerde elektrische verwarmingsweerstand, deze dient als naverwarming wanneer de zonnecollectoren niet genoeg warmte kunnen leveren (bv. 's nachts of in de winter). Indien de temperatuur van het buffervat onder de 45 °C zakt zal de elektrische weerstand opspringen en het technische water opwarmen. Indien het buffervat een temperatuur van 60 °C overschrijd zal de elektrische weerstand uitschakelen.



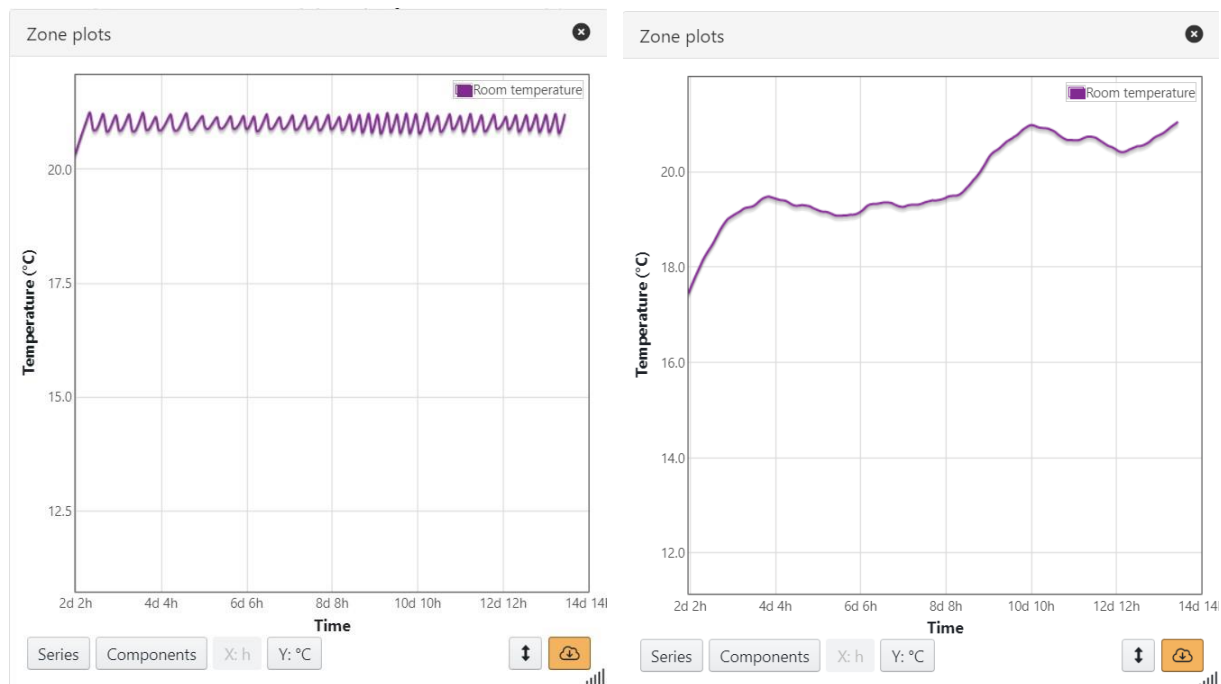
Figuur 29: regeling van het buffervat voor SWW

3.5 Analyse

3.5.1 Verwarming

Het totale geïnstalleerd vermogen voor verwarming van de 9 appartementen samen is 7410 W. Er zijn 6 kleinere appartementen van 750 W en 3 grotere van 970 W. Deze vermogens zijn evenredig met de vloeroppervlakte per appartement. Hierdoor werd de primaire warmtepomp geschat op een vermogen van 7,4 kW. Voor het buffervat na de primaire warmtepomp werd er gekozen voor een volume van 1 m³ (1000L).

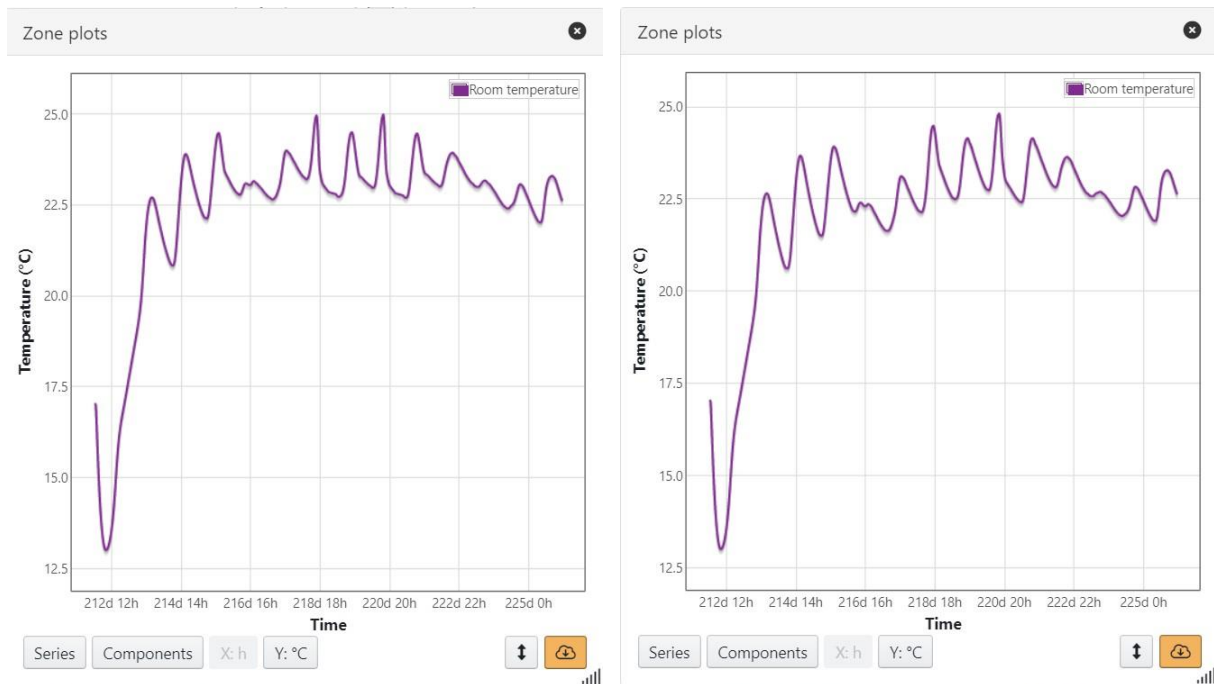
Door simulaties en sensitiviteitsanalyses van concept 3 bekwamen een vermogen van 7 kW voor de primaire warmtepomp en een volume van 0,5 m³ voor het buffervat. We hebben dan het vermogen van 7 kW (links) afgetoetst op een vermogen van 6 kW (rechts), omdat er bij dit concept geen booster warmtepomp gebruikt wordt hebben we het vermogen laten dalen. Men kan zien dat de kamertemperatuur veel meer schommelingen vertoont bij een vermogen van 6 kW en dat de kamer minder snel opwarmt en ook niet op temperatuur kan brengen/houden. Een vermogen van 7 kW volstaat om de ruimte op temperatuur te krijgen.



Figuur 30: gemiddelde ruimtetemperatuur in de winter bij een warmtepomp van 7 kW (links) en 6 kW (rechts)

3.5.2 Koeling

Het totale geïnstalleerd vermogen voor koeling van de 9 appartementen samen is 9120 W. Er zijn 6 kleinere appartementen van 920 W en 3 grotere van 1200 W. Deze vermogens zijn evenredig met de vloeroppervlakte per appartement. Hierdoor werd de primaire warmtepomp geschat op een vermogen van 9,1 kW. Voor het buffervat na de primaire warmtepomp werd er gekozen voor een volume van 0.5 m³ (500L). We hebben eerst gekeken of dat een warmtepomp van 7 kW de hele koelvraag kan dekken, want de vierpijpswarmtepomp is eigenlijk een geheel. We hebben gemerkt dat door de inertie van het gebouw te vergroten (links: kleinere inertie, rechts: grotere inertie) dat er minder grote pieken zijn en er meer comfort is.

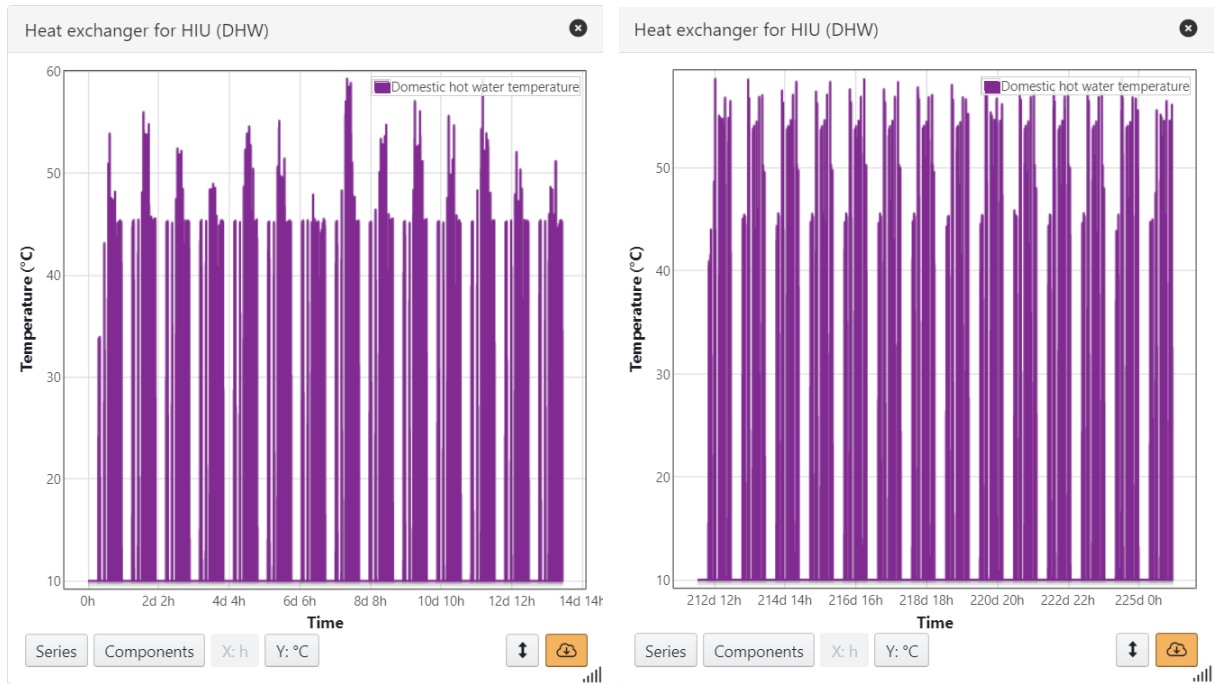


Figuur 31: gemiddelde ruimtetemperatuur in de zomer bij een kleinere inertie (links) en grotere inertie (rechts)

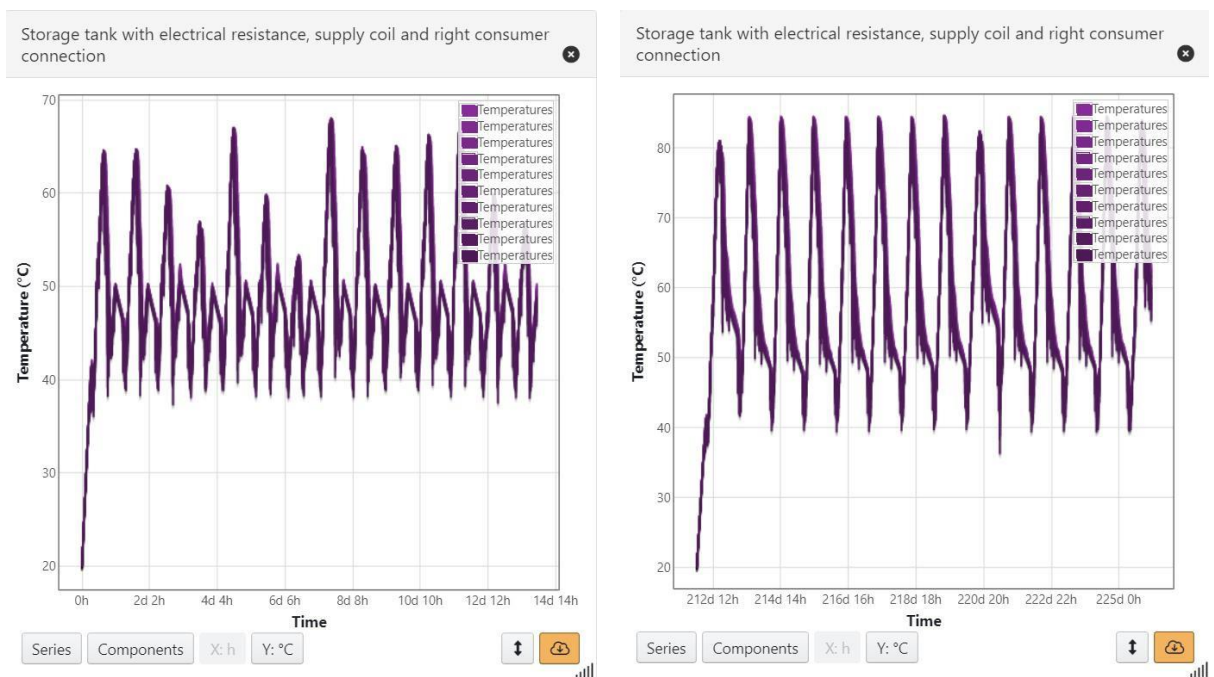
3.5.3 SWW

We hebben gekozen voor een dekkingsgraad van 50% (ongeveer 13000 kWh per jaar) dit geeft ons een collector oppervlakte van 35 m², met een opbrengst van ongeveer 370 kWh/m² per jaar. Voor het buffervat hadden we initieel een volume van 2,5 m³ (2x SWW verbruik) genomen. Via de sensitiviteitsanalyse hebben we ondervonden dat een buffervolume van 1,5 m³ energetisch voordeliger is en ook zijn de investeringskosten afgenomen aangezien we een kleiner vat kunnen plaatsen. In de winter met een kleiner buffervat moet de elektrische weerstand minder naverwarmen, in de zomer zal de weerstand wel net iets meer bijdragen maar dit is zeer klein. Dit resulteert in een vermindering van het energieverbruik over een jaar.

Op onderstaande figuren staan grafieken van de warmtewisselaars en de buffervaten voor de winter (links) en de zomer (rechts). Men kan vaststellen dat in de zomer de temperatuur van het SWW hoger oploopt dan in de winter dit komt doordat het buffervat hogere temperaturen haalt, omdat dan de meeste zonne-energie gewonnen kan worden.



Figuur 32: temperatuurverloop van SWW na de warmtewisselaar voor zonnecollectoren in winter (links) en zomer (rechts)



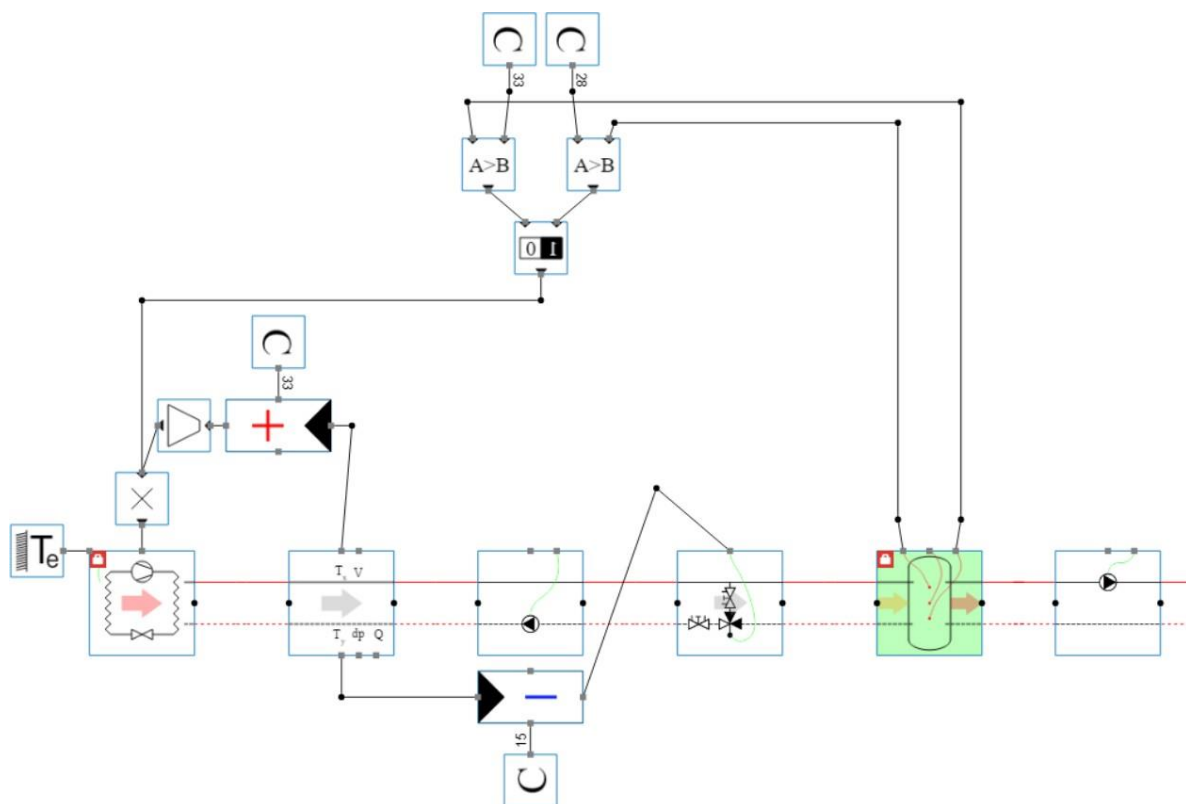
Figuur 33: temperatuurverloop van SWW in het buffervat in winter (links) en zomer (rechts)

3.6 Concept 3

Op basis van het Belgische klimaat verwacht men dat een collectieve verwarming interessanter is dan een collectieve koeling. Echter door de beter geïsoleerde gebouwen, ten gevolge van de strengere eisen rond het E-peil, zien we dat de warmtevraag kleiner wordt en dat de koelvraag toeneemt. Ook dit blijkt uit de berekende waarden voor dit project. Om deze koelvraag in te vullen kiezen we voor een individuele koeling per appartement.

3.6.1 Opbouw en regeling van het model

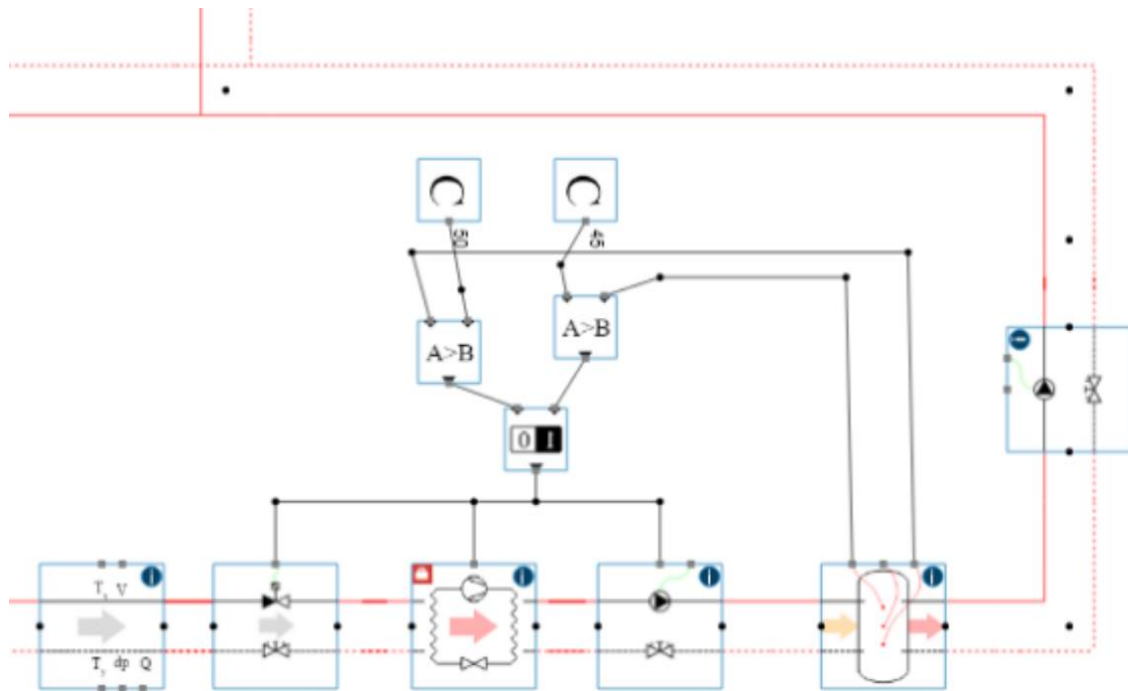
De collectieve verwarming bestaat uit een lucht/water warmtepomp in combinatie met een buffervat en bijhorende regeling. Het temperatuursregime is 33/23 °C aangezien we een lage temperatuur afgiftesysteem hebben, namelijk vloerverwarming.



Figuur 34: Regeling van het buffervat

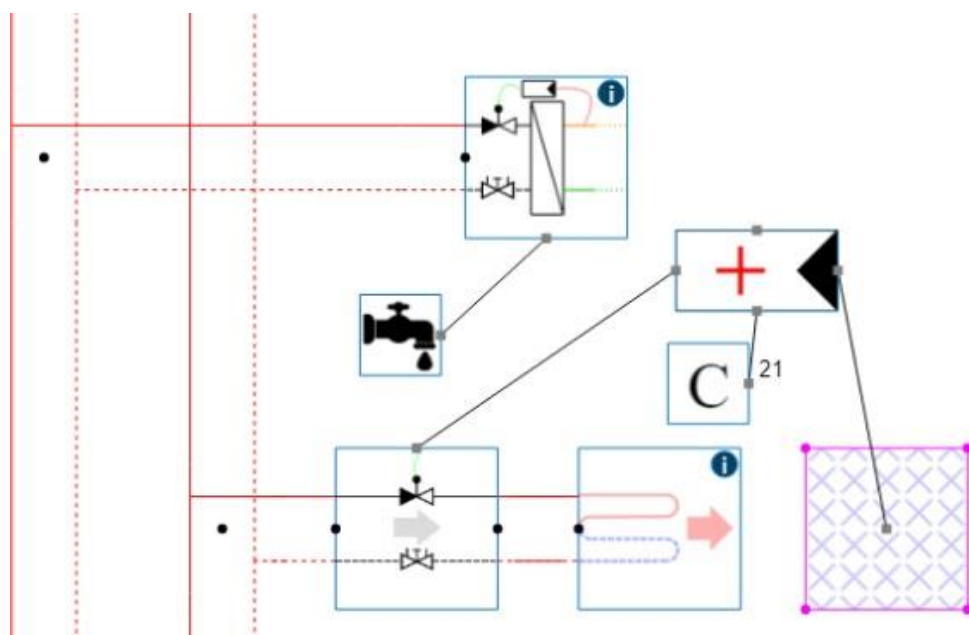
De gebruikte regeling voor het aansturen van de warmtepomp gebeurt op basis van twee sensoren in het buffervat. Wanneer de onderste sensor een waarde kleiner dan 28 °C aangeeft dan zal de warmtepomp aangestuurd worden op basis van een PI-regelaar, welke de aanvoertemperatuur vergelijkt met het setpunt van 33 °C. Wanneer de bovenste sensor een waarde hoger dan 33 °C aangeeft dan zal de warmtepomp afgeschakeld worden aangezien het vat tot een voldoende hoogte gevuld is met warm water. Ook de retourtemperatuur wordt gecontroleerd door middel van een inverse PI-regelaar. Deze zal de retourtemperatuur vergelijken met het setpunt van 15 °C en de verdeelschakeling aansturen wanneer nodig.

Voor de productie van sanitair warm water (SWW) gebruiken we een water/water booster warmtepomp om het water afkomstig van de primaire warmtepomp op de juiste temperatuur te brengen. Het gebruikte regime voor het technisch water is 50/40 °C.



Figuur 35: productie van SWW met booster warmtepomp

Zoals al eerder vermeld is het afgiftesysteem vloerverwarming. De warmteafgifte wordt geregeld door het smoren van het debiet door middel van een PI-regelaar, welke het setpunt van 21°C vergelijkt met de huidige temperatuur in de ruimte. Het sanitair warm water wordt per appartement voorzien door middel van een satellietstation. Hier wordt het water door middel van een warmtewisselaar met een temperatuurverschil van 5 °C aangeboden.



Figuur 36: regeling van vloerverwarming als afgiftesysteem

De volgende figuur geeft een totale weergave van de 9 appartementen samen weer. Elk appartement heeft een opbouw zoals besproken in de vorige alinea.



Figuur 37: aansluiting voor verwarming van de 9 appartementen

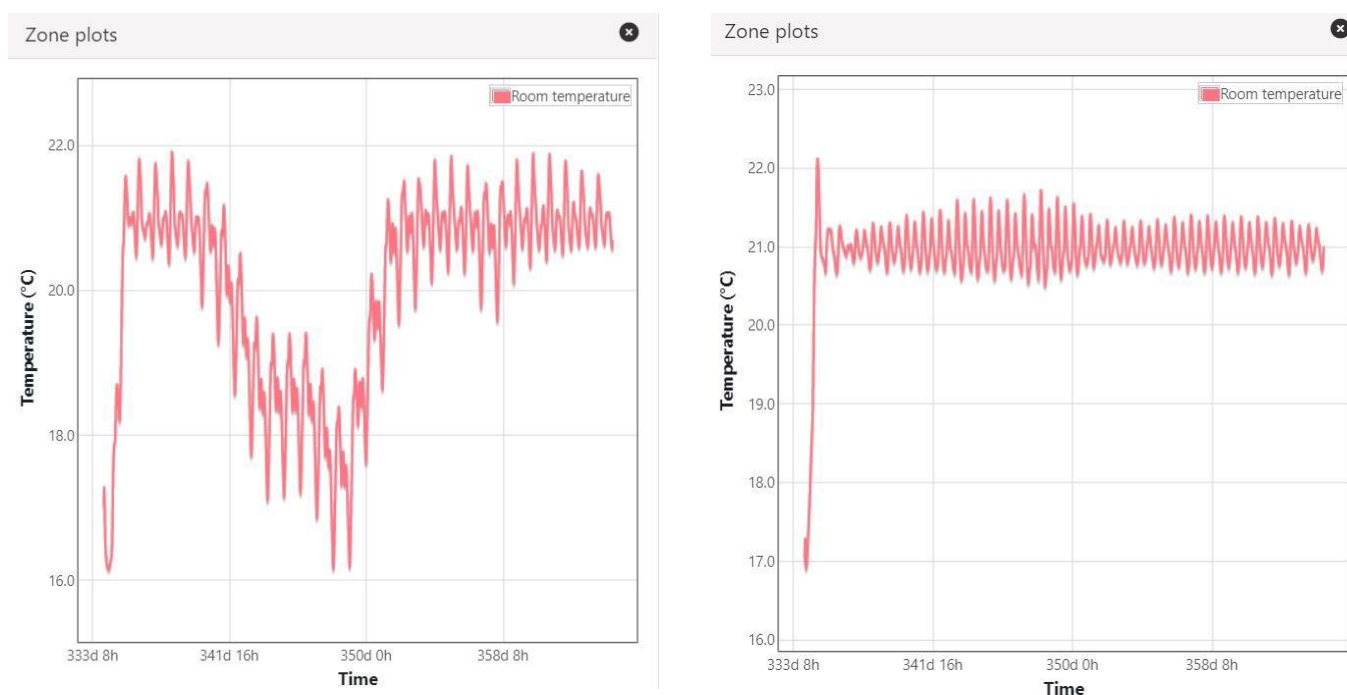
3.6.2 Analyse

3.6.2.1 Vermogen en opslagvolume

Het totale geïnstalleerd vermogen voor verwarming van de 9 appartementen samen is 7410 W. Er zijn 6 kleinere appartementen van 750 W en 3 grotere van 970 W. Deze vermogens zijn evenredig met de vloeroppervlakte per appartement. Initieel werd het condensorvermogen van de booster warmtepomp voor SWW op 10 kW geschat. Hierdoor werd de primaire warmtepomp geschat op een vermogen van 17,4 kW. Voor het buffervat na de primaire warmtepomp werd er gekozen voor een volume van 1 m³ (1000L) en voor het SWW buffervat een volume van 1,5 m³ (1500L).

Door simulaties en sensitiviteitsanalyses bekwamen een vermogen van 7 kW voor de primaire warmtepomp en een volume van 0,5 m³ voor het buffervat. Voor de booster warmtepomp bekwamen we een vermogen van 6 kW en een volume van 1 m³ voor het buffervat.

Op figuur 38 is het verloop van de kamertemperatuur, dat werd gesimuleerd over de hele maand december 2021, van het appartement A1b/22 zichtbaar. De linkse grafiek is het verloop van de kamertemperatuur bij een vermogen van 5 kW voor de primaire warmtepomp en de rechtse grafiek geeft het verloop van de kamertemperatuur van 7 kW voor de primaire warmtepomp.

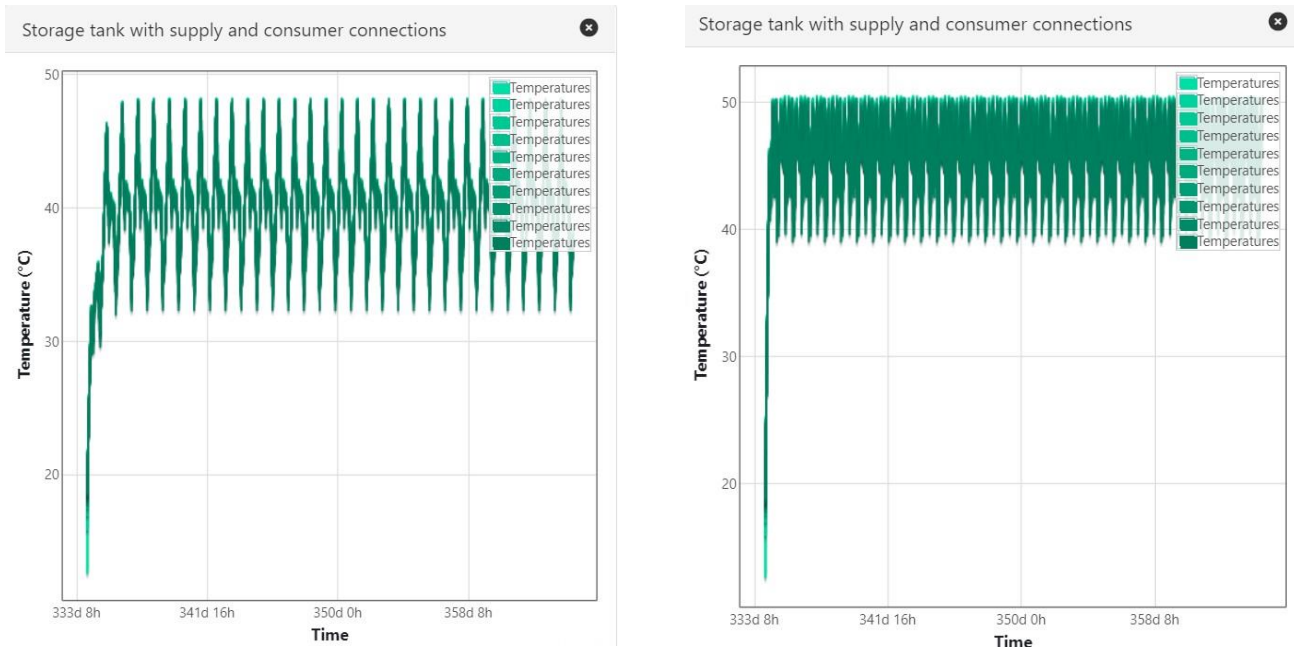


Figuur 38: gemiddelde ruimtetemperatuur in de winter bij een warmtepomp van 5 kW (links) en 7 kW (rechts)

Hierop zien we dus dat bij een vermogen van 5 kW de kamertemperatuur niet rond het gewenste setpunt van 21 blijft en dat men met momenten zelfs zakt tot bijna 16 °C. Bij een vermogen van 7 kW is de kamertemperatuur veel constanter en zijn de schommelingen rond het setpunt beduidend kleiner.

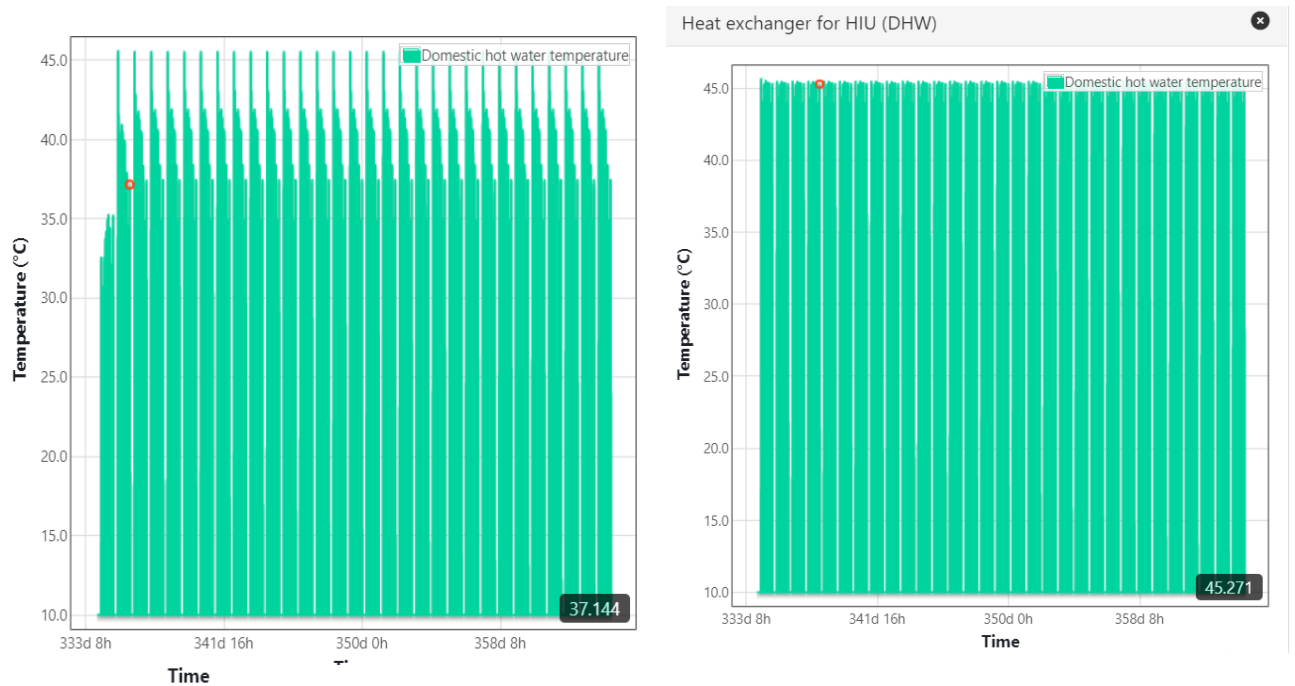
Ook is er vastgesteld dat een vat groter dan 0,5 m³ niet opweegt ten opzichte van de installatiekosten die hier bij komen kijken. Echter een te klein vat veroorzaakt grotere schommelingen in de kamertemperatuur.

Figuur 39 toont het verloop van het warm water na de booster warmtepomp. Hierop is duidelijk te zien dat wanneer er gekozen wordt voor een booster warmtepomp van 3 kW, weergegeven door de linkse grafiek, de temperatuurschommelingen enorm groot zijn. Ook valt hier op dat dat de gewenste temperatuur van 50 °C niet bereikt wordt. Wanneer er gekozen wordt voor 6 kW voor de booster warmtepomp zijn deze schommelingen kleiner en bereiken we ook de gewenste waarde van 50 °C.



Figuur 39: temperatuurverloop in het buffervat bij een boosterwarmtepomp van 3kW (links) en 6 kW (rechts)

Het temperatuurverloop van het water na de satellietstation wordt weergegeven op de volgende figuur. Opnieuw geeft links het verloop bij 3 kW booster warmtepomp weer en rechts voor 6 kW. Bij een vermogen van 3 kW schieten we opnieuw te kort om aan de gewenste 45 °C te komen. Dit is door het feit omdat onze aanvoertemperatuur aan het satellietstation niet de 50 °C haalt. Bij een vermogen van 6 kW halen we wel de gewenste 45 °C.



Figuur 40: temperatuurverloop van SWW na de warmtewisselaar voor een boosterwarmtepomp van 3kW (links) en 6 kW (rechts)

Tenslotte heeft de warmtepomp 623 draaiuren van de 744 uren in de maand december, wat duidt op 49 start/stops. De booster warmtepomp daarentegen kende 123 start/stops. Dit komt neer op 3 à 4 start/stops per dag.

3.6.2.2 Individuele koeling

Voor de koeling hebben we gekozen voor een individuele koeling per appartement te voorzien. De volgende figuur geeft de kamertemperatuur van appartement A1b/22 weer over de eerste 2 weken van augustus in 2021. Hierop is duidelijk te zien dat er een aantal momenten zijn dat de kamertemperatuur boven de 24 °C komt. Deze ongewenste warme pieken kunnen dan per appartement weggevoerd worden door de individuele koeling.



Figuur 41: ruimtetemperatuurverloop gedurende eerste 2 weken van augustus

Zoals berekend in 2.2 bedraagt de koelvraag voor een klein appartement 920 W en voor een groot appartement 1200 W. Om deze vraag in te lossen kan in ieder appartement een airco met buitenunit geïnstalleerd worden, ook wel split airco genoemd. Met een multi-split uitvoering kunnen meerdere binnenunits aan de buitenunit gekoppeld worden. Hierdoor kunnen meerdere ruimtes gekoeld worden.

Voordelen

- Flexibiliteit
- Omkeerbaar naar verwarming
- Weinig geluid
- Compact

Nadelen

- Ruimte voor buitenunit
- Kostprijs
- Geen eenvoudige installatie

Indien er een ventilatiesysteem aanwezig is, kan er op warme dagen in het tussenseizoen, passief gekoeld worden 's nachts.

3.6.2.3 Type warmtepomp

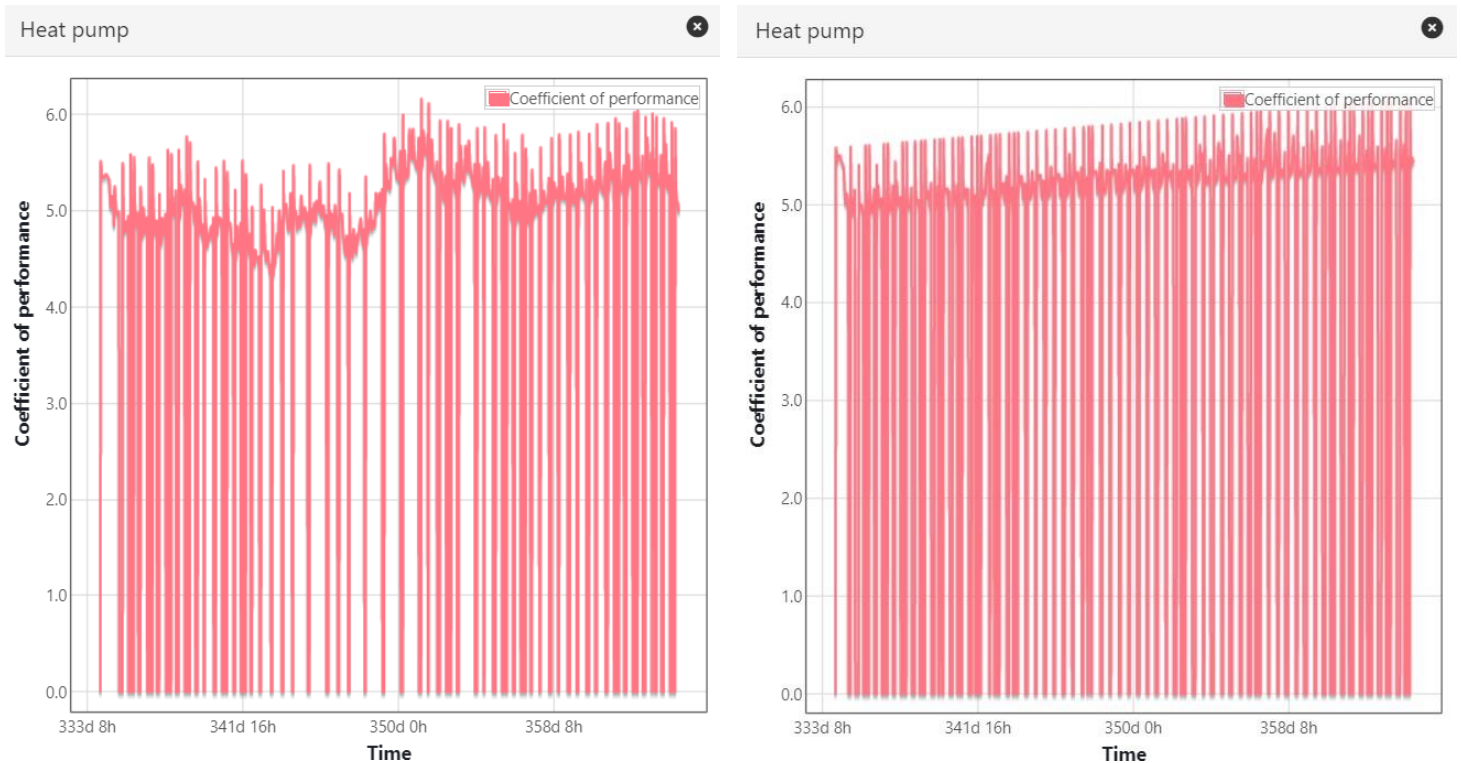
Om de vergelijking te maken tussen een lucht/water warmtepomp en een bodem/water warmtepomp hebben we een pareto-analyse uitgevoerd van een jaar. Het verschil in draaiuren, start/stops en het elektrisch verbruik voor zowel de primaire als de booster warmtepomp worden weergegeven in de volgende tabel.

Type WP	Lucht/water	Bodem/water
Primaire WP		
Draaiuren	5 815	5 318
Start/stops	1 104	1 047
Elektrisch verbruik [kWh]	6 525	6 307
Booster WP		
Draaiuren	5 387	5 044
Start/stops	1 459	1 095
Elektrisch verbruik [kWh]	7 274	6 715

Tabel 3: vergelijking type warmtepompen

Uit tabel 3 blijkt dat er een besparing van 777 kWh voor de bodem/water warmtepomp. Bij een elektriciteitsprijs van 0,20 euro/kWh komt dit neer op een besparing van 155 euro. De extra installatiekost van een warmtebron ten opzichte van een lucht/water warmtepomp ligt rond 7000 euro. Met de besparing van 155 euro/jaar komt dit neer op een terugverdientijd van 45 jaar en 2 maanden. Aangezien de gemiddelde levensduur van zo'n warmtebron 40 jaar is, kan geconcludeerd worden dat in deze situatie een lucht/water warmtepomp interessanter is.

De besparing op het elektrisch verbruik kunnen we verklaren op basis van de COP van beide warmtepompen. Op de figuur is te zien dat de COP bij een bodem/water warmtepomp (rechts grafiek) constanter verloopt. Dit is te wijten aan een constantere bodemtemperatuur ten opzichte van de variërende luchttemperatuur bij de lucht/water warmtepomp.

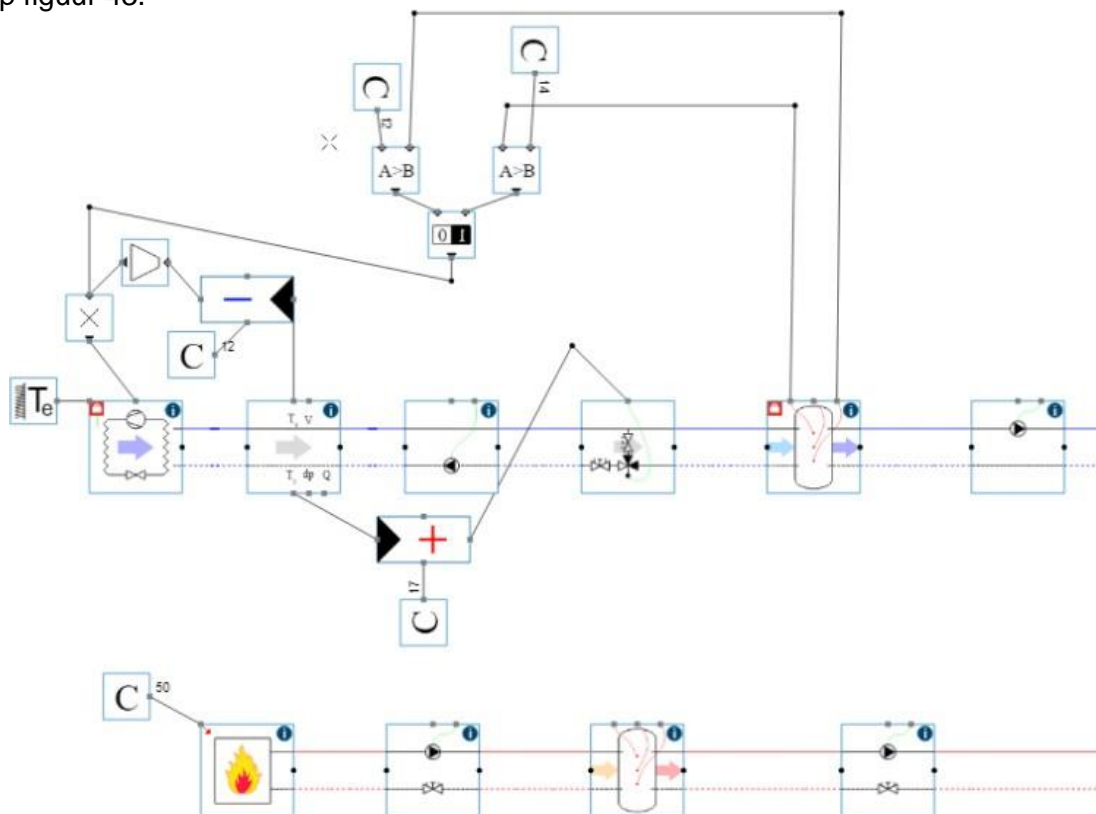


Figuur 42: COP-verloop voor een lucht/water warmtepomp (links) en een grond/water warmtepomp (rechts)

3.7 Concept 4

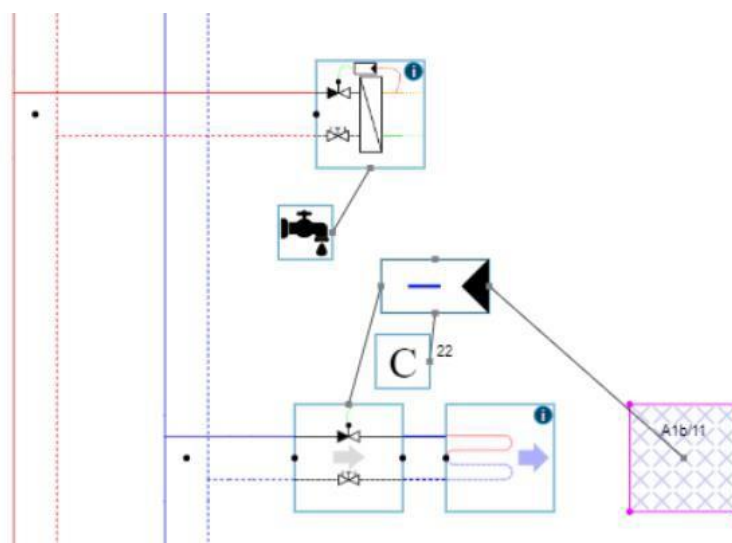
3.7.1 Opbouw en regeling van het model

In dit concept bekijken we het omgekeerde van concept 3, namelijk een collectieve koeling en individuele verwarming. De productie van dit model is analoog aan dat van concept 3. Echter de voorziening van SWW gebeurt door middel van een collectieve ketel. De opbouw is te zien op figuur 43.



Figuur 43: regeling van de koelmachine + buffervat en de productie van SWW

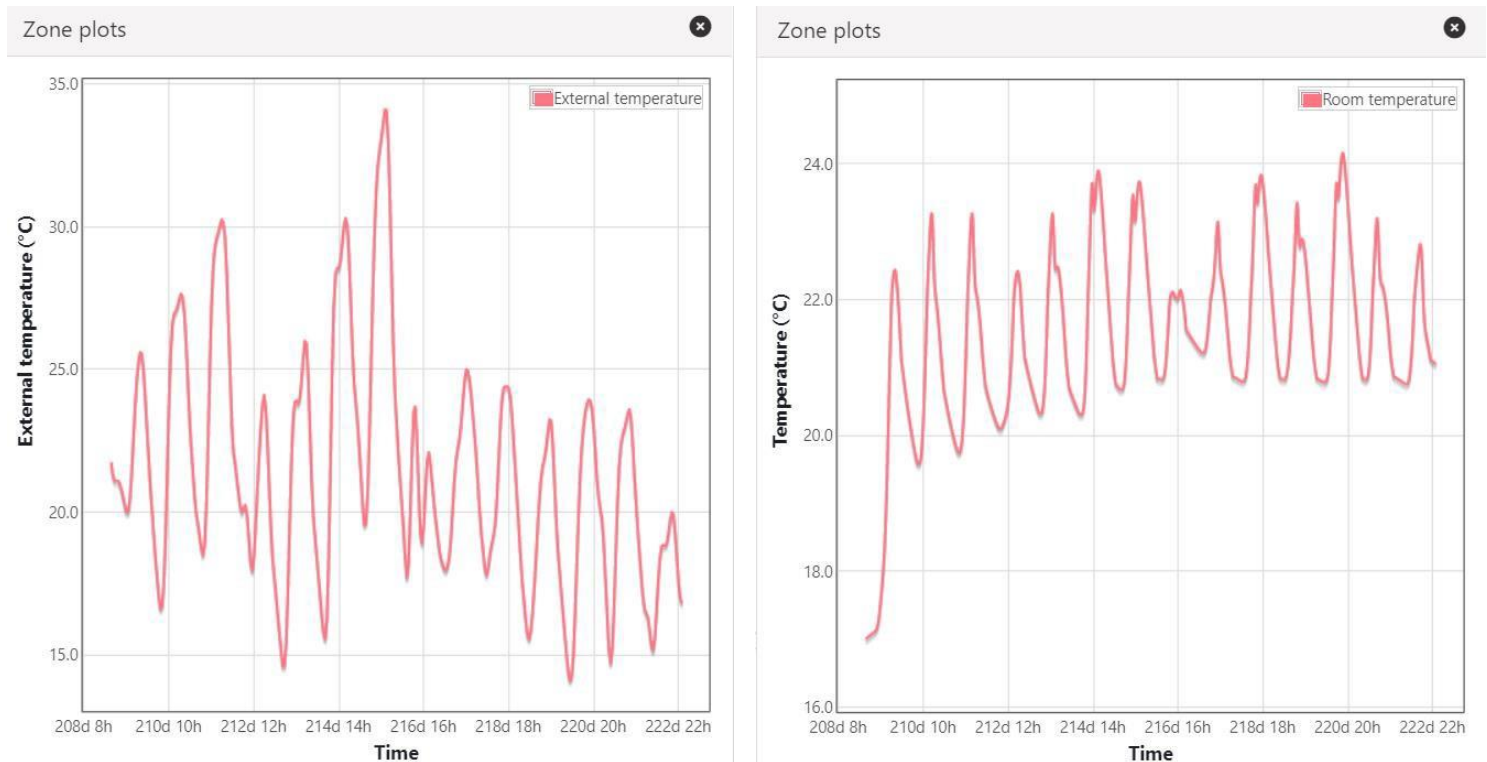
Voor de regeling van de kamertemperatuur bij koeling is een inverse PI-regelaar nodig waarbij we het setpunt op 22 °C instellen. Dit om de overshoot van de temperaturen te beperken.



Figuur 44: regeling ruimtetemperatuur

3.7.2 Analyse

Aan de hand van simulaties en sensitiviteitsanalyses werd er een koelvermogen van 3 kW voor de koelmachine en een opslagvat van 1 m³ bekomen. Op de volgende figuur is te zien dat de installatie de kamertemperatuur relatief stabiel houdt in functie van de buitentemperatuur.



Figuur 45: buitentemperatuur en ruimtetemperatuur bij een koelvermogen van 3 kW

Het Belgische klimaat wordt gekenmerkt door een langere periode van warmtevraag en een korte periode van koelvraag met pieken. Met als gevolg heeft het concept als groot nadeel dat de koelmachine weinig draaiuren per jaar heeft. Het aantal draaiuren bedraagt namelijk 1425 van de 8766 uur op een jaar. De individuele verwarmingssystemen zullen de meeste draaiuren hebben.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat het niet interessant is om een collectieve koelinstallatie te installeren met individuele verwarming. De hoge installatie kost voor een collectief systeem (met een lage temperatuur afgifte) kan beter gebruikt worden voor verwarming. Hierbij zou het systeem veel meer draaiuren maken zoals aangetoond in concept 3.

Hoofdstuk 4: VERGELIJKING CONCEPTEN

Met behulp van de pareto-analyse van Hysopt worden de verschillende concepten met elkaar vergeleken. Hiervoor werd elk concept gesimuleerd voor 2022. De waarden in onderstaande tabel zijn dus telkens het jaartotaal voor het concept.

	Huidig concept	Concept 1	Concept 2	Concept 3
Energie Analyse				
Gasgebruik(kWh)	101774	0	0	0
Elektriciteitsgebruik (kWh)	37	17903	23001	14135
Koud watergebruik (m ³)	1332	1149	1150	1220
Elektriciteitsproductie (kWh)	34105	0	0	0
Totaal energiegebruik (kWh)	67706	17903	23001	14135
Energiebesparing	0%	74%	66%	79%
Primair energieverbruik (kWh)	16604	44757	57502	35338
Primaire energiebesparing (kWh)	0	-28153	-40989	-18733
Primaire energiebesparing (%)	0%	-170%	-248%	-113%
System efficiëntie	95%	189%	147%	263%
PER	95%	76%	59%	105%
RPES	34%	-19%	-24%	15%
Energiekost				
Gasgebruik	12.212,86 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Elektriciteitsgebruik	7,35 €	3.580,56 €	4.600,14 €	2.827,01 €
Elektriciteitsproductie	6.820,92 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Koud watergebruik	5.728,59 €	4.941,36 €	4.944,03 €	5.247,68 €
Totaal	11.127,88 €	8.521,92 €	9.544,17 €	8.074,70 €
Kostenbesparing	0,00 €	2.605,96 €	1.583,71 €	3.053,18 €
Kostenbesparing	0%	23%	14%	27%
CO2 Analyse				
Emissie (ton)	10,46	6,34	8,15	5,10
Emissieverlaging (ton)	0,00	4,12	2,31	5,36
Emissieverlaging (%)	0	0,39380848	0,22084130	0,512463628

Tabel 4: Vergelijking verschillende concepten

ENERGETISCHE ANALYSE

Op vlak van energieverbruik liggen de concepten dicht bij elkaar. Zowel concept één als drie blijken meer dan 70% minder energie te gebruiken, bij concept twee bedraagt dit 66 %. De efficiëntie van drie concepten bedraagt over de 100%, maar concept drie scoort hier het beste op.

Het primair energieverbruik van de huidige installatie is de beste aangezien geen elektriciteit wordt gebruikt, enkel gas. De conversiefactor van primaire energie voor elektriciteit ligt echter 2,5 keer hoger dan die van elektriciteit. Bijgevolg vragen de verschillende concepten meer primaire energie dan het huidige systeem.

OPERATIONELE KOSTENANALYSE

Het huidig concept heeft als grootste kost de gasconsumptie, maar door het vermogen van de WKK is het elektrisch verbruik miniem. De nieuwe concepten gebruiken geen gas, de elektriciteitskost ligt echter wel een stuk hoger. Het verschil tussen de systemen is ook hier de factor die bepaald welk concept de laagste operationele kostprijs heeft. In vergelijking met het huidige concept spaart concept één 23% uit, de totale kostprijs van concept twee bespaard men 14%. Concept drie komt goedkoopst uit met een besparing van 27% ten opzichte van het huidige concept.

ANALYSE VAN DE CO₂-UITSTOOT

Ook op vlak van CO₂-emmissies zijn alle drie concepten beter dan de huidige situatie, concept 3 heeft de minste CO₂-uitstoot.

Hoofdstuk 5: **BESPREKING EINDUNITS**

In het grootste deel van de concepten werd er gebruik gemaakt van vloerverwarming of -koeling. Uiteraard bestaan er nog andere eindunits die gebruikt kunnen worden. In dit hoofdstuk worden kort drie verschillende systemen besproken waarmee gekoeld en verwarmd kan worden namelijk de vloer, het plafond en convectoren. Telkens worden er voor- en nadelen besproken.

5.1 Vloer

Met een delta T van 10 °C tussen aanvoer- en retourtemperatuur, heeft vloerverwarming een vermogen van 50 W/m² en vloerkoeling een vermogen van 20 W/m². Door het lagere koelvermogen zal koeling de benodigde oppervlakte bepalen.

Zoals beschreven in paragraaf 3.1.1 hebben de 6 appartementen met een oppervlakte van 88 m² een koelvermogen van 920 W en de 3 appartementen van 104 m² een koelvermogen van 1200 W. De benodigde oppervlakte voor de vloerverwarming en vloerkoeling kan bepaald worden door deze vermogens te delen door de vermogens per m². Voor het kleine appartement komt dit neer op $\frac{920}{20} = 46 \text{ m}^2$ en voor het grote appartement komt dit neer op $\frac{1200}{20} = 60 \text{ m}^2$.

Voordelen

- Gelijkmatische opwarming en koeling van de ruimte waardoor er geen stofverspreiding is
- Neemt geen leefruimte in
- Lage temperatuurafgifte
- Koelen en verwarmen kan door hetzelfde systeem
- Tochtvrij
- Geluidloos
- Grote diversiteit aan afmetingen
- Stralingswarmte
- Mooie afwerking

Nadelen

- Dure en zeer complexe installatie zeker bij bestaande gebouwen.
- Trage opwarmtijd
- Onderhoud en herstellingen zijn niet altijd even eenvoudig
- Niet te combineren met elke vloerbedekking
- In rekening brengen van tapijten en meubels
- Bij aanleg van bestaande gebouwen kan de vloer hoger komen te liggen dan oorspronkelijk waardoor men volume van de leefruimte verliest

5.2 Plafond

Als er een delta T van 10°C tussen aanvoer- en retourtemperatuur wordt gehanteerd, heeft plafondkoeling een vermogen van 60 W/m² en plafondverwarming een vermogen van 75 W/m². Dit betekent dat koeling doorslaggevend zal zijn voor de benodigde oppervlakte. Als we net zoals de koelvraag van de kleine en grote appartementen delen door het vermogen per m² dan komen we respectievelijk op een benodigde oppervlakte van $\frac{920}{60} = 15,33 \text{ m}^2$ en $\frac{1200}{60} = 20 \text{ m}^2$.

Echter als men een goede koeling en verwarming wil in alle ruimtes zal er toch een groter oppervlakte geïnstalleerd worden. Als gevolg kan de delta T verlaagd worden waardoor de COP van een warmtepomp zal stijgen en de energiekosten dalen.

Voordelen

- Gelijkmatige opwarming van de ruimte waardoor er geen stofverspreiding is
- Neemt geen leefruimte in en heeft minder last van meubels dan vloerverwarming
- Lage temperatuurafgifte
- Koelen en verwarmen kan door hetzelfde systeem
- Tochtvrij
- Geluidloos
- Grote diversiteit aan afmetingen
- Goed te combineren met andere systemen
- Stralingswarmte
- Onderhoudsvriendelijk
- Mooie afwerking

Nadelen

- Dure en zeer complexe installatie zeker bij bestaande gebouwen. Een alternatief is het plaatsen van infraroodpanelen maar deze hebben een zeer hoog elektrisch verbruik
- Trage opwarmtijd
- Moet rekening gehouden worden met de kans op condensatie

5.3 Ventilo-convectoren

Een andere mogelijke afleverset na een warmtepomp is een ventilo-convector. In elke ruimte die geklimatiseerd dient te worden, wordt een convector voorzien. Het koel- en verwarmingsvermogen wordt in onderstaande tabellen per appartement (groot of klein) nog eens onderverdeeld per te klimatiseren ruimte. Op die manier kunnen de convectoren zo juist mogelijk gedimensioneerd worden.

Tabel 5: Convectorvermogens groot appartement

Ruimte	oppervlak	fractie	P_koelen [W]	P_verwarmen [W]
Slaapkamer 1	8,24	0,131503	141,6949	115,5256942
slaapkamer 2	11,96	0,190871	205,6639	167,6804979
Leefruimte	28,44	0,453878	489,0536	398,7318864
Gang	9,32	0,148739	160,2665	130,6674114
Badkamer	4,7	0,075008	80,8211	65,89451005

Tabel 6: Convectorvermogens klein appartement

Ruimte	oppervlak	fractie	P_koelen [W]	P_verwarmen [W]
Slaapkamer	16,61	0,346186	315,7216	257,2161
Badkamer	4,75	0,099	90,28762	73,55669
Leefruimte	26,62	0,554815	505,9908	412,2272

Uit bovenstaande tabellen blijkt dat er maximaal een convectorvermogen van 0,5 kW benodigd is. Na een kleine markstudie lijken de kleinste convectoren een verwarmingsvermogen van 509 W en koelvermogen van 990 W te hebben [6].

Wanneer voor convectoren wordt geopteerd, zullen ze dus over gedimensioneerd zijn.

Voordelen:

- Compact
- Filter in ventilo-convector waardoor lucht stofvrij is
- Elke convector kan apart bediend worden. In de slaapkamers bestaat bijvoorbeeld de mogelijkheid de convectoren overdag uit te zetten. Op die momenten dienen deze kamers niet geklimatiseerd te worden
- Kunnen lager temperatuurregime werken in koelmodus omdat condensatie mag optreden

Nadelen:

- Ventilator verbruikt elektriciteit
- Ventilator produceert geluid
- Zeer dure oplossing, mede door de over gedimensioneerde convectoren

Hoofdstuk 6: BESLUIT

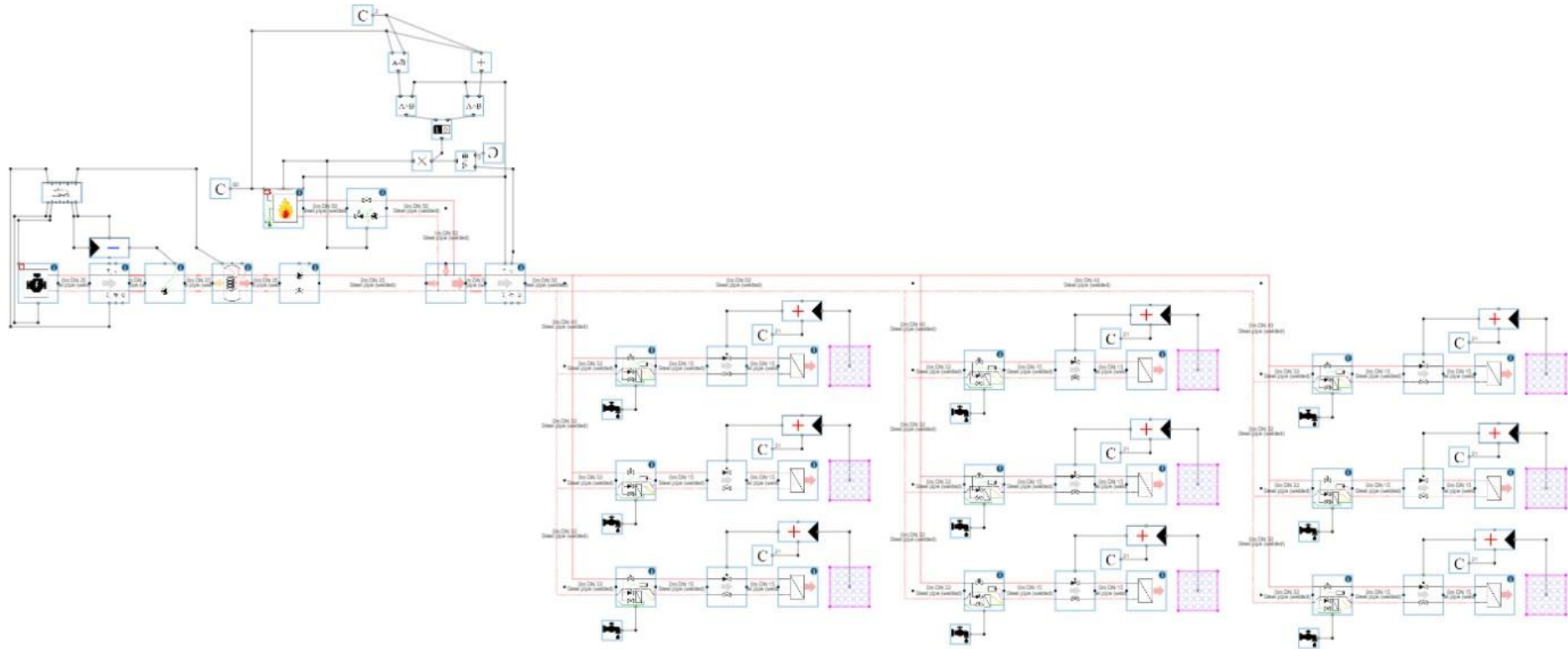
Algemeen kunnen we besluiten dat de drie voorgestelde concepten beter presteren op comfort door oververhitting in de zomermaanden te voorkomen. Het gebruik van een lucht/water warmtepomp in combinatie met een boosterwarmtepomp en vloerverwarming komt als beste systeem naar boven, omdat dit systeem in Hysopt geen koeling bevat. Ook het gebruik van een vierpijpswarmtepomp blijkt heel voordelig. De zonnecollectoren doen het minder goed dan de systemen met de boosterwarmtepomp aangezien het elektriciteitsverbruik hoger ligt door de verwarmingsweerstand. Wanneer de nodige elektriciteit duurzaam kan worden opgewekt en opgeslagen met behulp van bijvoorbeeld zonnepanelen en batterijen zullen de verschillende concepten nog sterk verbeter in nodige kostprijs en primair energieverbruik.

LITERATUURLIJST

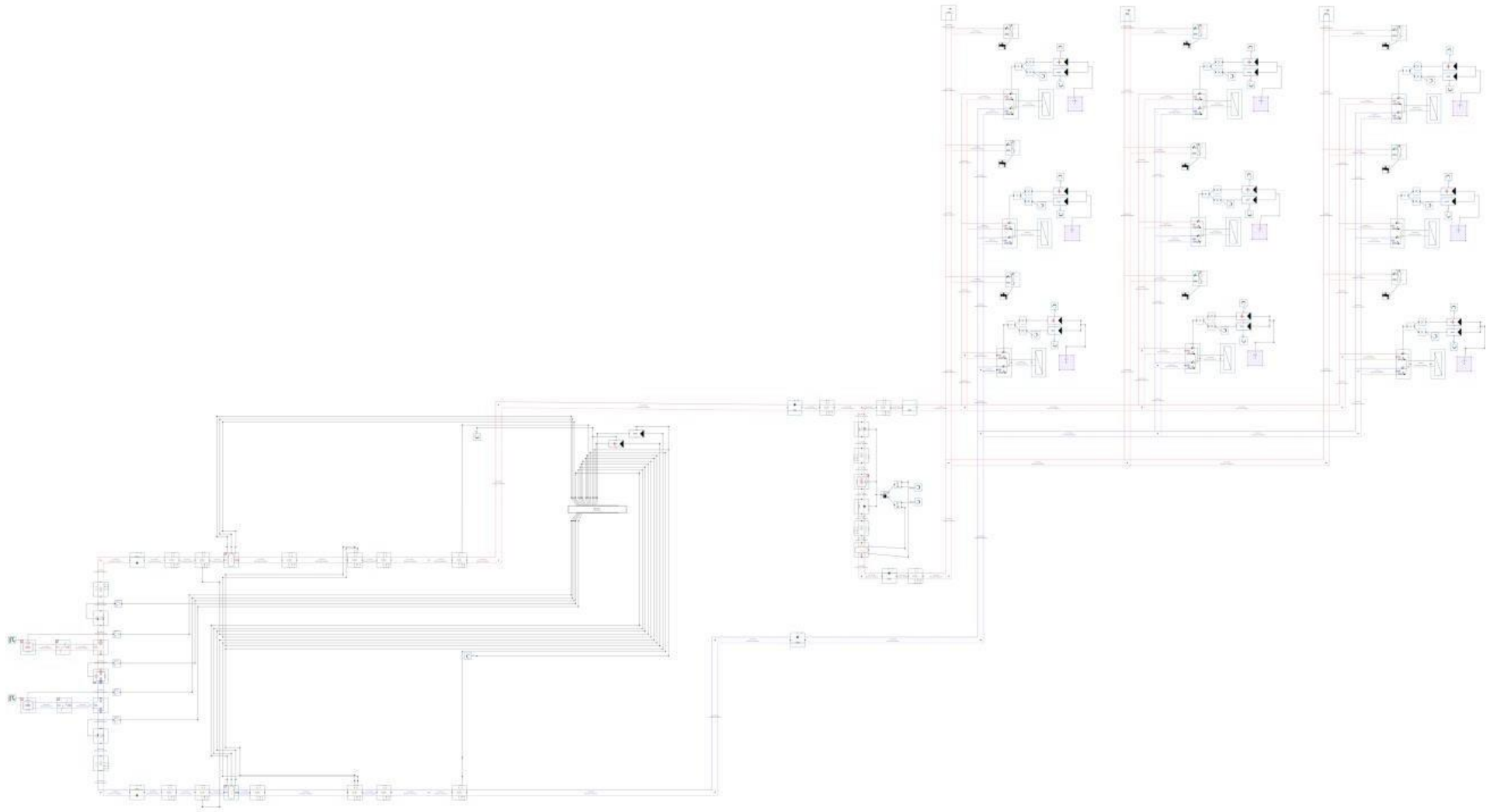
- [1] “JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission.” https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#HR (accessed Jun. 10, 2022).
- [2] “TOELICHTING BIJ ENERGIESIMULATIES: DYNAMISCHE SIMULATIES Vlaams Kennisplatform Woningrenovatie WP3: Kwaliteitsbewaking energiemonitoring”.
- [3] “Instal2020 - verwarming en sanitair water gecombineerd.” <https://www.instal2020.be/> (accessed May 07, 2022).
- [4] “ Conceptfiches voor de productie en distributie van SANITAIR WARM WATER .”
- [5] “Hydronic System Optimisation.” <https://app.hysopt.com/#/insplib> (accessed Jun. 10, 2022).
- [6] “NIVA Ventilator Convector Verwarmen & Koelen,” 2019.

APPENDIX

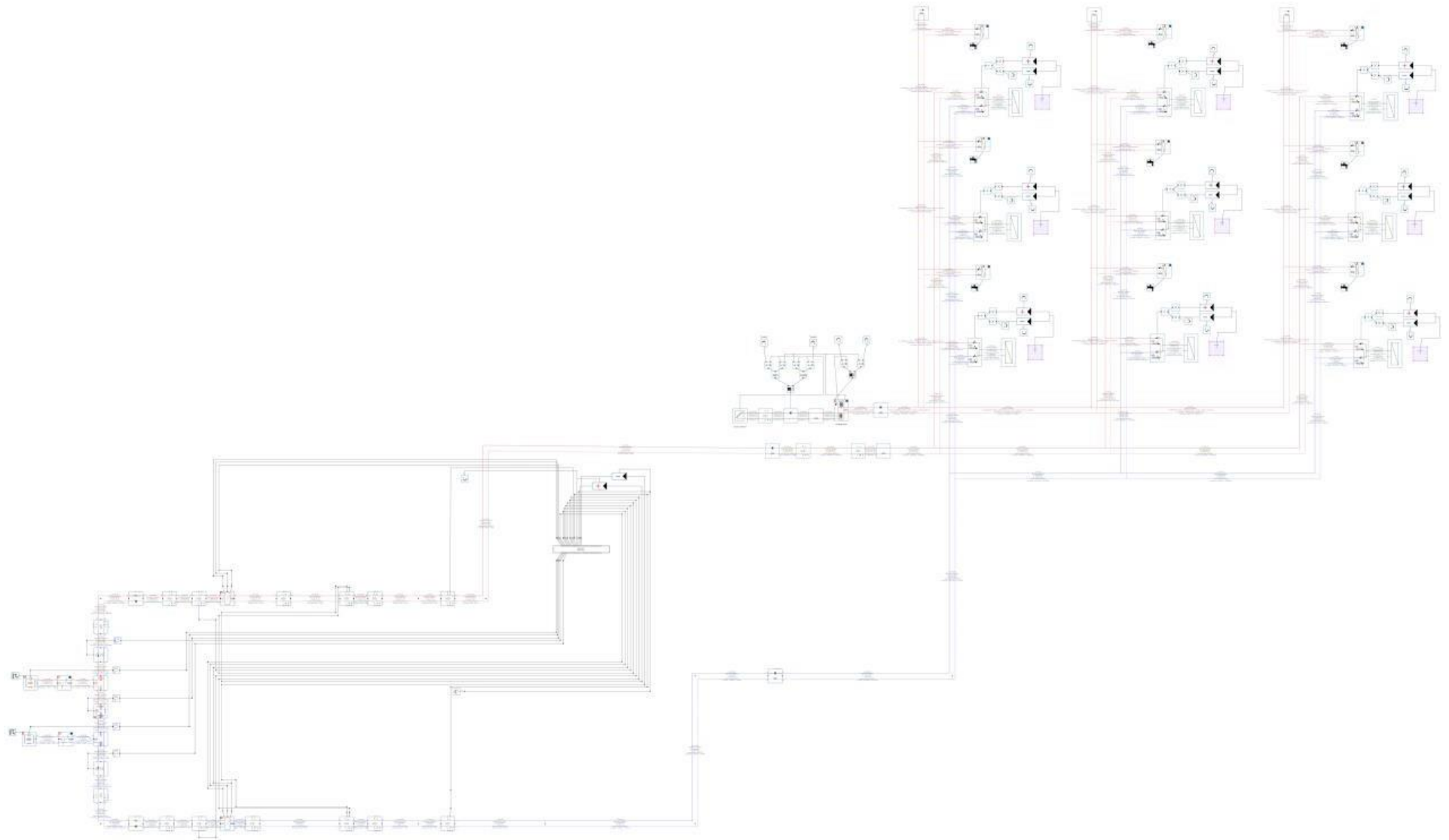
Huidige situatie



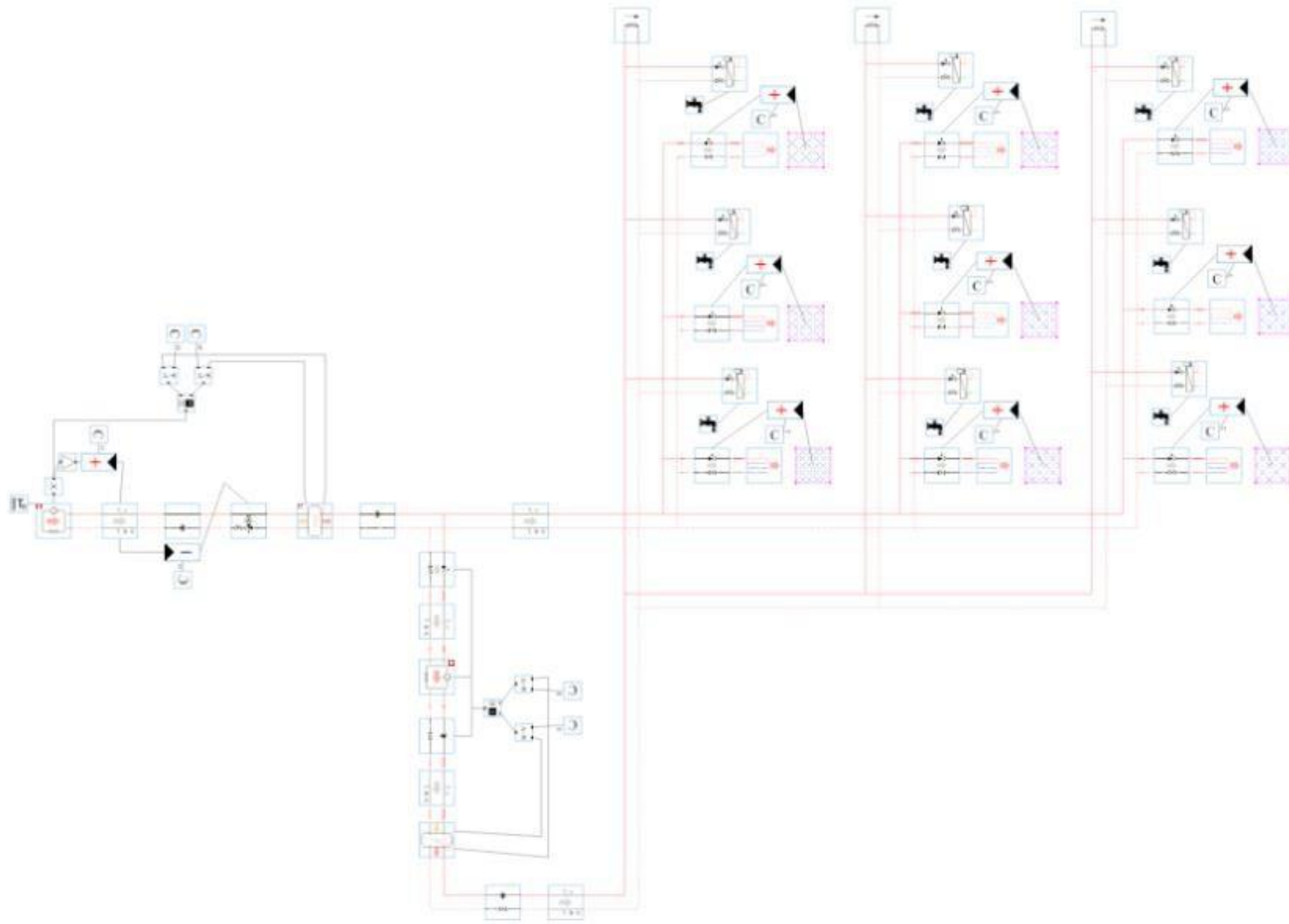
Concept 1



Concept 2



Concept 3



Concept 4

