

Energetische renovatie in stedelijke context: integratie van een warmtenet in een 19de-eeuwse stadswijk

Bram Schiepers

Studentennummer: 01503100

Promotoren: prof. Jan Moens, prof. Dirk Somers

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Master of Science in de ingenieurswetenschappen: architectuur

Academiejaar 2019-2020

Energetische renovatie in stedelijke context: integratie van een warmtenet in een 19de-eeuwse stadswijk

Promotoren: prof. Jan Moens, prof. Dirk Somers

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische
graad van Master in de ingenieurswetenschappen: architectuur –
afstudeerrichting: architectuurontwerp en bouwtechniek

Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur
Vakgroep Architectuur en Stedenbouw
Academiejaar 2019–2020



Toelating tot bruikleen

De auteur geeft de toelating deze masterproef voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de masterproef te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de bepalingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze masterproef.

The author gives permission to make this master dissertation available for consultation and to copy parts of this master dissertation for personal use. In all cases of other use, the copyright terms have to be respected, in particular with regard to the obligation to state explicitly the source when quoting results from this master dissertation.

15 juni 2020, Bram Schiepers

Energetische renovatie in stedelijke context: integratie van een warmtenet in een 19de-eeuwse stadswijk

Promotoren: prof. Jan Moens, prof. Dirk Somers

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische
graad van Master in de ingenieurswetenschappen: architectuur –
afstudeerrichting: architectuurontwerp en bouwtechniek

Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur
Vakgroep Architectuur en Stedenbouw
Academiejaar 2019–2020

Voorwoord

De vijfjarige opleiding ingenieur-architect haalt verschillende facetten van het beroep en de beroepspraktijk aan. Stedenbouw, architectuurgeschiedenis, ontwerp, bouwtechnische en -fysische vakken, ... Het aanbod is ruim en gaandeweg vind je raakvlakken met je interesses.

Bouwtechnische en bouwfysische vakken hebben me altijd geïntregeerd. De integratie van duurzame systemen en aandacht voor milieuvriendelijke bouwtechnieken kan voor mij niet genoeg onder de aandacht worden gebracht. De evenwichtige balans tussen energetische optimalisatie en architectuur vormt de basis voor deze masterproef.

Het volledige leerproces was niet mogelijk zonder de steun van verschillende mensen. Ze maakten het mede mogelijk om deze masterproef tot een goed einde te brengen.

Eerst en vooral wil ik graag professor Jan Moens en Dirk Somers bedanken voor het sturen in de juiste richting. Daarnaast verdient ook prof. Wim Boydens een dankwoord voor de verschillende vragen die hij steeds beantwoordde. Verder heb ik ook enkele medewerkers van Stad Antwerpen en Fluvius gesproken. Ze gaven enkele keren feedback en konden me op de juiste momenten correcte gegevens bezorgen die nodig waren om deze masterproef te vervolledigen.

De studie kondigt zijn einde aan met deze masterproef. Een aantal mensen hebben me de voorbije jaren altijd gesteund en me door de moeilijke momenten gesleurd. Mijn familie en Jorden hebben me gesteund in de moeilijke momenten met hun dagelijkse aanmoediging.

Met een aantal studenten heb ik een resem mooie momenten beleefd. Alexander, Anke, Jasper, Joeri, Kobe, Koen, Pauline en Pebbles: bedankt om deze jaren zo bijzonder te maken.

Energetische renovatie in stedelijke context: integratie van een warmtenet in een 19de-eeuwse stadswijk

Promotoren: prof. Jan Moens, prof. Dirk Somers

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van Master in de ingenieurswetenschappen: architectuur – afstudeerrichting: architectuurontwerp en bouwtechniek

Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur
Vakgroep Architectuur en Stedenbouw
Academiejaar 2019–2020

Kernwoorden: energetische renovatie, duurzaamheid, warmtenet, kostenanalyse, levensduur

Samenvatting

Een groot deel van het woonpatrimonium in Vlaanderen is sterk verouderd. Een thermische schil ontbreekt vaak in de gevels en daken waardoor de warmtevraag oploopt. Vervolgens wordt de energiebehoefte in de meeste gevallen ingelost door de verbranding van fossiele brandstoffen wat een nadelige invloed heeft op het klimaat.

Een energetische renovatie van een 19de-eeuwse stadswijk in Antwerpen focust op het verbeteren van de thermische schil met aandacht voor de historische waarde van de façade. Nadat wordt ingegrepen op de vraagzijde van verwarming, wordt gezocht naar een duurzame opwekking.

Een warmtenet wordt aangerijkt om de verwarmingsbehoefte in te lossen. Het net en de bijhorende technische installaties worden vervolgens gedimensioneerd. Daarna wordt elk element geïntegreerd in de bestaande context, rekening houdend met de randvoorwaarden van de onderlegger en het gebouwenbestand.

De integratie gaat gepaard met een bepaalde investeringskost. Om een financiële analyse uit te werken, wordt een alternatieve strategie aangehaald. Iedere woning in de wijk kan, los van het collectieve warmtenet, opteren voor een lucht/water-warmtepomp om de warmtevraag duurzaam op te wekken. Beide strategieën vergen op individueel en collectief niveau een investering.

Bovendien, met oog op de toekomst, is de levensduur van belang. Een energetische renovatie wil een antwoord bieden voor de toekomst. Welke strategie is het meest tijdsbestendig?

Ten slotte wordt ook het akoestische comfort van de individuele situatie aangehaald. De diverse toestellen produceren een welbepaald geluidsniveau wat nadelig kan zijn voor het leefcomfort van de dense stadswijk.

Energetic renovation in an urban context: integration of a heat grid in a 19th-century urban district

Climate agreements, climate strikes, sustainability, CO₂ reduction, renewable energy, ... Different concepts which appear weekly in the newspapers. The planet earth has reached its limits. Many actions against global warming are being supported by a number of international agreements. The Paris Agreement 2020-2050 sets out a global framework to avoid dangerous climate change by limiting global warming to well below 2°C. The first legally binding global climate change agreement was signed at the Paris climate conference in 2015 by 195 countries.

Different moments, 2020 and 2030, are used as state of affairs. Flanders is running late so every sector has to make necessary changes. The Flemish industry and transport already did some interventions: a couple of cities have created a low emission zone to reduce exhaust emissions. But smaller, local interventions have a similar impact.

Almost every family in Flanders has its own house of property so most part is fully built. A big share of this rather dense region was built before any form of climate change. The Belgian government has only created several certificates and standards in the last 20 years, such as EPC¹ and EPB².

The residential buildings in Flanders have a negative impact on climatological change: significant heat losses due to the lack of proper insulated buildings, CO₂ emissions because of heating with fossil fuels, ... A large amount of technical installations are outdated.

A comprehensive renovation strategy has to be the main target: energetic renovation without loss of architectural value. An integrated approach makes it possible to intervene in the existing building stock and to preserve the architectural values, especially 19th-century building façades. A collective imagination can support the individual renovation strategy: the district becomes an important link in this quest.

One way to reduce the emission of CO₂ is to intervene in a 19th-century urban district. The typical mansions in the city have a lack of insulation in the façades and the technical installation are outdated. These residential buildings do not achieve any required building physics. The first step is creating a proper insulation level in the façade and the roof without the loss of architectural value.

The outdated technical installations can be replaced by a collective system in an urban context. A heat grid, an underground network of pipes, can be used to connect many households and provide them for heating and domestic hot water. In many cases residual heat from waste incineration or industrial building plants is used to feed the heat grid. By using this residual heat, installations such as gas condensing boilers can be removed from any building connected to the heat grid. Gases and fossil fuels are not longer necessary and the CO₂ emission is reduced.

In Flanders, there are a few examples of heat grids: MIROM in Roeselare, De Nieuwe Dokken in Ghent and Nieuw Zuid in Antwerp. They all use waste heat from nearby industrial plants or waste incineration. These grids are (or will be) connected to new constructions.

1 EPC: energy performance certificate: this certificate mentions the energy rating of an habitation and informs on how to make the building more energy-efficient [1].

2 An EPB-certificate is a certificate confirming the energy performance of a building

In this dissertation I will research the possibilities to implement a heat grid in an existing 19th-century urban district. This has some very specific conditions such as existing structures, the density, existing piping in the underground, etc. Because of this specific location, far away from any industrial complexes or waste incinerations, the use of residual heat to feed the heat grid is rather difficult. Other sustainable options can be used, for example thermal and geothermal energy.

This research will focus on the use of a heat grid by the use of PVT panels on the roofs of the existing building in the urban district. Each district building will use this grid for heating and domestic hot water. In summer the most heat will be collected in the underground pipes but the demand for heating is rather low during this season. In order to make a seasonal switch, five geothermal borefields will be integrated in the neighbourhood so that heat can be saved in a field of vertical pipes. In winter the heat can be extracted. This temperature is not high enough for domestic heating but the installation of collective groundwater heat pumps can obtain the perfect temperature.

As already mentioned, each building has to be renovated as well. Different strategies are possible: a full renovation, a renovation with preserving architectural qualities or doing nothing. The heat losses in each building will determine how many PVT panels, geothermal fields and heat pumps are needed. An overall calculation will give insight into the size and the quantity of technical installations. The main goal will be an integral approach while keeping different boundary conditions in mind.

A huge issue for many people, more than the integration of sustainable systems, is the cost of a renovation. The integration of a heat grid, technical installations and the borefields are expensive. These systems are of course collective so the costs are shared. The costs for one building or unit depend on how many people will join this project. Due to importance of costs, an individual renovation will be researched as well. The difference between an individual approach and a collective system has another financial outcome. What happens if a building in this urban context will choose a proper insulation level and an air water heat pump? Are the costs the same or is it more economical to invest in an individual system?

Another financial part of a renovation strategy takes place after construction and integration. Each system demands proper maintenance and this has also entailed its costs. The maintenance costs depend on the chosen strategy.

It is important to keep looking forward. The best solution is durable for a longer period of time. The lifespan and production of the different technical installations are an important part of the reduction of the use of fossil fuels. Which situation is most time resistant?

This dissertation will be completed with attention for acoustics. The technical installations produce a certain amount of noise and it may not be too high in this very dense urban context. This issue will be addressed mainly within the individual approach due to the outside unit of the air water heat pump. In the collective approach, the technical spaces have to be designed with special acoustic care.

A proper balance of integration, costs, acoustics and lifespan will eventually determine which renovation strategy will be most ideal in a 19th century urban district.

Inhoudsopgave

Voorwoord	5
Inhoudsopgave	10
Figurenlijst	13
Achtergrond	13
Referentieprojecten	14
Casestudy	14
Ontwerpend onderzoek	14
Financiële analyse	15
Bijlagen	17
Technische fiches	19
Lijst van afkortingen	20
Achtergrond	21
Klimaatinvloeden	22
Klimaatwijken	24
RUP: stad Antwerpen 2012	34
Groendaken	36
Hitte-eiland effect	40
Rapport Energielandschappen Vlaamse Bouwmeester	42
IABR: The Missing Link	48
Referentieprojecten	50
Overzicht	51
Freiburg im Breisgau, Green City	52
Spittelau, Wenen	54
MIROM, Roeselare	56
ZuidtrAnt, Antwerpen	58
Nieuw Zuid, Antwerpen	59
Nieuwe Dokken, Gent	61
Buurzame Stroom, Gent	63
Godshuizen <i>De Schipjes</i> , Brugge	65
Conclusie	68
Casestudy	69
De 19de-eeuwse stadswijk	70
Wijkonderzoek	72
De wijk	73

Ontwerpend onderzoek	80
Energieverbruik bestaande situatie	81
Renovatiestrategieën	84
Eerste renovatiestrategie	85
Tweede renovatiestrategie	87
Warmtenet	93
Inleiding	94
Hydraulisch schema	95
Dimensionering technische installaties	98
Integratie technische installaties	104
Financiële analyse	114
Alternatieve energetische renovatie	120
Financiële analyse: warmtenet – individuele warmtepomp	125
Onderhoud	132
Levensduur	133
Akoestiek	138
Inleiding	139
Wetgevend kader	140
Wijkonderzoek	141
Dempers	145
Conclusie	150
Bibliografie	153
Achtergrond	153
Referentieprojecten	154
Ontwerpende onderzoek	157
Bijlagen	160
Technische fiches	161
Bijlagen	162
Studenten	162
Aantal units	162
Behoeftesw	162
Energieverbruik bestaande situatie	163
Energieopwekking bestaande situatie	168
Energieverbruik eerste renovatiestrategie: historisch waardevolle gevel	169
Energieopwekking eerste renovatiestrategie: historische waardevolle gevel	174
Energieverbruik tweede renovatiestrategie: volledige thermische schil	175
Energieopwekking tweede renovatiestrategie: volledige thermische schil	180
Financiële analyse warmtenet	181
Onderhoudskosten warmtenet	183

Financiële analyse eerste renovatiestrategie: rijwoningen	184
Financiële analyse tweede renovatiestrategie: rijwoningen	186
Financiële analyse eerste renovatiestrategie: rijwoningen, twee gezinnen	188
Financiële analyse tweede renovatiestrategie: rijwoningen, twee gezinnen	190
Financiële analyse eerste renovatiestrategie: appartementen	192
Financiële analyse tweede renovatiestrategie: appartementen	194
Technische fiches	196

Figurenlijst

Achtergrond

- Figuur 1: globale CO₂-niveau met 1950 als basisjaar [ppm] [2]
- Figuur 2: CO₂-uitstoot in België in 2016 [5]
- Figuur 3: energiegebruik van Belgische gezinnen, 2017 [6]
- Figuur 4: energiegebruik voor verwarming in Belgische residentiële gebouwen, 2017 [6]
- Figuur 5: presentatiemaquette eindrapport Klimaatwijken [7]
- Figuur 7: gebouwenbestand van het horizontaal bouwblok [7]
- Figuur 8: nederzettingsspatroon van het horizontaal bouwblok [7]
- Figuur 9: onderlegger van het horizontaal bouwblok [7]
- Figuur 10: fictief voorbeeld van mogelijkheden voor voorkooprecht [9]
- Figuur 11: fictief voorbeeld voorkooprecht voor groene ruimte te ontwikkelen [9]
- Figuur 12: ontwerpschets van de herontwikkeling van de Stuivenbergsite [9]
- Figuur 13: Schematische weergave van een daktuin, een lichte daktuin en een begroend dak [10]
- Figuur 14: Temperatuurprofielen van het dichtingsmembraan tijdens de winter [10]
- Tabel 1: Gemiddelde temperatuur van het dichtingsmembraan in de winter [10]
- Figuur 15: Temperatuurprofielen van het dichtingsmembraan in de zomer [10]
- Tabel 2: Gemiddelde temperatuur van het dichtingsmembraan in de zomer [10]
- Figuur 16: gemiddelde luchttemperatuursverschil van de stedelijke referenties t.o.v. Vremde [11]
- Figuur 17: oppervlakte nodig om de totale energievraag Vlaanderen hernieuwbaar op te wekken [12]
- Figuur 18: aandeel hernieuwbare energie nu – 2050 (gewenst) [12]
- Figuur 19: synthesekaart van de landschapstypes in Vlaanderen [12]
- Figuur 20: taartdiagram van één km² [12]
- Figuur 21: energie – exergie [12]
- Figuur 22: veel hoogwaardige energie in, maar veel afvalwarmte uit [12]
- Figuur 23: hoogwaardige energie voor de behoeftigde functies en reststromen voor laagwaardige functies [12]
- Figuur 24: methodologie energielandschapskaarten [12]
- Figuur 25: kaart met oppervlaktewaterwingebieden voor de productie van drinkwater [12]
- Figuur 26: geothermische technologieën [12]
- Figuur 27: systeem van een warmtenet [12]
- Figuur 28: energietransitie – sustainable development goals [15]

Referentieprojecten

Figuur 29: kaart met referentieprojecten

Figuur 30: schematische weergave Freiburg, Green City

Figuur 31: energieneutrale cluster van gebouwen in Vauban, Freiburg [19]

Figuur 32: net zero energy building cluster, Vauban [22]

Figuur 33: schematische weergave van de verbrandingscentrale [27]

Figuur 34: Spittelau Landmark [30]

Figuur 35: schematische weergave eindgebruikers van het warmtenet [32]

Figuur 36: schematische weergave van de afvalverbrandingsoven MIROM [33]

Figuur 37: ruimtelijke integratie van het warmtenet van Roeselare [34]

Figuur 38: schematische weergave van het warmtenet gekoppeld aan de warmtecentrale [42]

Figuur 39: thermische bocht in het warmtenet [43]

Figuur 40: warmtecentrale [44]

Figuur 41: schematische weergave restwarmte uit ZAWENT en Christeyns [49]

Figuur 42: toepassingsgebied in Dampoort en Sint-Amandsberg

Figuur 43: infofiche Buurzame Stroom [51]

Figuur 44: luchtfoto Godshuizen, Brugge

Figuur 45: gevelbeelden Godshuizen, Brugge [55]

Casestudy

Figuur 46: luchtfoto Antwerpen

Figuur 47: Antwerpen centrum

Figuur 48: luchtfoto van de site

Figuur 49: fotoreportage 19 oktober 2019

Tekening 1: planweergave van de wijk met aanduiding van de functies

Tekening 2: gebouwenbestand van de wijk rond de Sint-Willibrorduskerk

Tekening 3: gevel Pastorijstraat 29

Tekening 4: gevel Pastorijstraat 51

Tekening 5: gevel Pothoekstraat 13-15

Ontwerpend onderzoek

Tabel 1: totale verwarmingsbehoefte van de wijk zonder ingrepen

Tabel 2: totale behoefte sanitair warm water

Tabel 3: totale verwarmingsbehoefte indien de eerste renovatiestrategie wordt toegepast

Tabel 4: totale verwarmingsbehoefte indien de tweede renovatiestrategie wordt toegepast

Tekening 6: axonometrie van de bestaande situatie, Pastorijstraat 29

Tekening 7: axonometrie na eerste renovatiestrategie, Pastorijstraat 29

Tekening 8: axonometrie van de bestaande situatie, Pothoekstraat 13-15

Tekening 9: axonometria na tweede renovatiestrategie, Pothoekstraat 13-15

Tekening 10: hydraulisch schema

Tabel 5: totale verwarmingsbehoefte indien de eerste renovatiestrategie wordt toegepast

Tabel 6: opwekking sww afhankelijk van het type gebouw

Tabel 7: warmteverbruik van de volledige wijk

Tabel 8: elektrisch vermogen warmtepomp en FlexTherm Eco

Tabel 9: totale verwarmingsbehoefte van de wijk zonder ingrepen

Tabel 10: totale verwarmingsbehoefte van de wijk zonder ingrepen

Tabel 11: nodige technische installaties bij de eerste renovatiestrategie

Tekening 11: snede straatniveau van het warmtenet en de aansluiting naar Pastorijstraat 29

Tekening 12: variant straatprofiel indien de volledig straat wordt heraangelegd

Tabel 12: verdeling BEO-velden

Tabel 13: warmtevraag per bouwblok

Tekening 13: integratie van het warmtenet en de BEO-velden

Tabel 14: verdeling technische installaties

Tekening 14: snede met de integratie van twee warmtepompen en drie buffervaten in een nieuwe technische ruimte (Sint-Mariacollege)

Financiële analyse

Tabel 15: richtprijzen warmtenetten

Grafiek 1: globale kost van het warmtenet in euro

Grafiek 2: globale kost van de te renoveren gebouwen (boven) en de globale kost van het warmtenet

Grafiek 3: investeringskost per rijwoning in euro

Grafiek 4: investeringskost per appartement in euro

Grafiek 5: investeringskost in euro per rijwoning indien slechts 35% van de wijk achter het project staat

Grafiek 6: investeringskost in euro per appartement indien slechts 35% van de wijk achter het project staat

Tabel 16: nodige vermogen van een lucht-waterwarmtepomp voor verschillende typewoningen

Tabel 17: type lucht/water-warmtepompen

Tekening 15: integratie van de buitenunits van de lucht/water-warmtepompen (hoek Pothoekstraat en Lange van Bloerstraat)

Tekening 16: integratie van de buitenunits van de lucht/water-warmtepompen in de Pastorijstraat

Grafiek 7: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp

(onder) voor een rijwoning met een oppervlakte van 211 m²

Grafiek 8: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (onder) voor een appartementencomplex met 8 units

Grafiek 9: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (onder) voor een rijwoning met een oppervlakte van 320 m²

Grafiek 10: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (onder) voor een rijwoning met een oppervlakte van 211 m²

Grafiek 11: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (onder) voor een appartementencomplex met 8 units

Grafiek 12: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (onder) voor een rijwoning met een oppervlakte van 320 m²

Grafiek 13: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (midden) en een gedeelde woning (onder) voor rijwoning met een oppervlakte van 211 m²

Grafiek 14: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (midden) en een gedeelde woning (onder) voor een rijwoning met een oppervlakte van 320 m²

Grafiek 15: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (midden) en een gedeelde woning (onder) voor een rijwoning met een oppervlakte van 211 m²

Grafiek 16: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (midden) en een gedeelde woning (onder) voor een rijwoning met een oppervlakte van 320 m²

Tabel 18: onderhoudskost warmtenet

Grafiek 17: kosten voor een rijwoning van 211 m², eerste renovatiestrategie

Figuur 50: Shearing Layers (Brand, 1994) [88]

Tabel 19: levensduur in jaren van de verschillende componenten van het warmtenet

Tabel 20: levensduur in jaren van de verschillende componenten van de individuele renovatiestrategie

Tabel 21: levensduur in jaren van de verschillende componenten van de renovatie van het gebouw

Tabel 22: overzichtstabel kosten warmtenet en individuele strategie

Grafiek 18: vergelijking jaarlijkse investering warmtenet (boven) met individuele warmtepomp (onder) voor een woning met een esthetische voorgevel van 211 m²

Grafiek 19: vergelijking jaarlijkse investering collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (onder) voor een appartementencomplex met 8 units

Grafiek 20: vergelijking jaarlijkse investering warmtenet (boven) met individuele warmtepomp (onder) voor een woning met een esthetische voorgevel van 320 m²

Figuur 51: geluidsniveau met bijhorende activiteiten

Tabel 23: geluidsvermogeniveau en geluidsdruk niveau van de warmtepompen

Tabel 24: som van geluidsdruk niveaus

Tekening 17: geluidsdruk niveau van de buitenunits op 10 m van de lucht/water-warmtepompen (hoek Pothoekstraat en Lange van Bloerstraat)

Tekening 18: geluidsdrukniveau op 10 m van de buitenunits van de lucht/water-warmtepompen in de Pastorijstraat

Tabel 25: types akoestische dempers Climeleon

Tekening 19: toepassing van de geluidsdempers

Tekening 20: geluidsdrukniveau van de buitenunits met toepassing van de geluidsdempers (hoek Pothoekstraat en Lange van Bloerstraat)

Tekening 21: geluidsdrukniveau van de buitenunits met toepassing van de geluidsdempers in de Pastorijstraat

Grafiek 21: bijkomende kost van een demper voor een woning met architecturale gevel van 211 m²

Grafiek 22: jaarlijkse kost van een rijwoning (211 m²) met een historische gevel

Bijlagen

Tabel 1: aantal studenten per school (2016–2017) [98]

Tabel 2: aantal gebouwen opgedeeld in verschillende types

Tabel 3: dagelijkse behoefte sww per bouwtype

Tabel 4: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 1

Tabel 5: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 2

Tabel 6: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 3

Tabel 7: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 4

Tabel 8: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 5

Tabel 9: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 6

Tabel 10: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 7

Tabel 11: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 8

Tabel 12: samenvattende tabel van de verwarmingsbehoefte van de wijk

Tabel 13: samenvattende tabel van de behoefte van sww van de wijk

Tabel 14: opwekking sww door FlexTherm en het net indien de zon geen 2,5h per dag schijnt

Tabel 15: totale verbruik dat het warmtenet moet leveren indien de wijk niet wordt gerenoveerd

Tabel 16: aantal warmtepompen en buffervaten

Tabel 17: aantal PVT-panelen over de volledige wijk

Tabel 18: totale opgewekte vermogen van het aantal PVT-panelen

Tabel 19: warmte-extractie uit grondboringen van 500 m diep + aantal boringen nodig

Tabel 20: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 1

Tabel 21: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 2

Tabel 22: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 3

Tabel 23: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 4

Tabel 24: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 5

Tabel 25: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 6

Tabel 26: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 7

Tabel 27: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 8

Tabel 28: samenvattende tabel van de verwarmingsbehoefte van de wijk

Tabel 29: samenvattende tabel van de behoefte van sww van de wijk

Tabel 30: opwekking sww door FlexTherm en het net indien de zon geen 2,5h per dag schijnt

Tabel 31: totale verbruik dat het warmtenet moet leveren: eerste renovatiestrategie

Tabel 32: aantal warmtepompen en buffervaten

Tabel 33: aantal PVT-panelen over de volledige wijk

Tabel 34: totale opgewekte vermogen van het aantal PVT-panelen

Tabel 35: warmte-extractie uit grondboringen van 500 m diep + aantal boringen nodig

Tabel 36: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 1

Tabel 37: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 2

Tabel 38: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 3

Tabel 39: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 4

Tabel 40: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 5

Tabel 41: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 6

Tabel 42: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 7

Tabel 43: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 8

Tabel 44: samenvattende tabel van de verwarmingsbehoefte van de wijk

Tabel 45: samenvattende tabel van de behoefte van sww van de wijk

Tabel 46: opwekking sww door FlexTherm en het net indien de zon geen 2,5h per dag schijnt

Tabel 47: totale verbruik dat het warmtenet moet leveren: tweede renovatiestrategie

Tabel 48: aantal warmtepompen en buffervaten

Tabel 49: aantal PVT-panelen over de volledige wijk

Tabel 50: totale opgewekte vermogen van het aantal PVT-panelen

Tabel 51: warmte-extractie uit grondboringen van 500 m diep + aantal boringen nodig

Tabel 52: totale kost en kost per unit bij de integratie van het warmtenet (1)

Tabel 53: totale kost en kost per unit bij de integratie van het warmtenet (2)

Tabel 54: onderhoudskost per technische installatie van het warmtenet

Tabel 55: kost van de technische installaties voor een rijwoning van 320 m² en 211 m² bij de eerste renovatiestrategie

Tabel 56: kost van woningrenovatie voor een rijwoning van 320 m² en 211 m² bij de eerste renovatiestrategie

Tabel 57: kost van de technische installaties voor een rijwoning van 320 m² en 211 m² bij de tweede renovatiestrategie

Tabel 57: kost van de technische installaties voor een rijwoning van 320 m² en 211 m² bij de tweede renovatiestrategie

Tabel 58: kost van woningrenovatie voor een rijwoning van 320 m² en 211 m² bij de tweede renovatiestrategie

Tabel 59: kost van de technische installaties voor een rijwoning van 320 m² en 211 m² bij de eerste renovatiestrategie, twee gezinnen

Tabel 60: kost van woningrenovatie voor een rijwoning van 320 m² en 211 m² bij de eerste renovatiestrategie, twee gezinnen

Tabel 61: kost van de technische installaties voor een rijwoning van 320 m² en 211 m² bij de tweede renovatiestrategie, twee gezinnen

Tabel 62: kost van woningrenovatie voor een rijwoning van 320 m² en 211 m² bij de tweede renovatiestrategie, twee gezinnen

Tabel 63: kost van de technische installaties voor een appartement met 8 units bij de eerste renovatiestrategie

Tabel 64: kost van woningrenovatie voor een appartement met 8 units bij de eerste renovatiestrategie

Tabel 65: kost van de technische installaties voor een appartement met 8 units bij de tweede renovatiestrategie

Tabel 66: kost van woningrenovatie voor een appartement met 8 units bij de tweede renovatiestrategie

Technische fiches

Technische fiche 1: PVT DM300-M156-60BKS [117]

Technische fiche 2: FlexTherm Eco [118]

Technische fiche 3: VITOCAL type BW 352 AS1190SAH [119]

Technische fiche 4: buffervat PVRE 10 000/PVREH-2 500/1 000 [120]

Technische fiche 5: buffervat sww VPS 300/3-5 [81]

Technische fiche 6: buffervat SVV 150L ZB & Solar [82]

Technische fiche 7: Carrier 61AF 035/075 [121]

Technische fiche 8: Daikin ERLQ011/14/15CV3 [122]

Lijst van afkortingen

MtCO₂: metric tons of carbon dioxide: maat voor de hoeveelheid uitstoot CO₂-gas

IR-straling: infraroodstraling

sww: sanitair warm water

KWO: koude-warmteopslag

wkk: warmtekrachtkoppeling

ORC: Organic Rankine Cycle

PVT-panelen: photovoltaïsche-thermische panelen

KWO: koude- en warmteopslag

BEO-veld: boorgaten energieopslag

PCM: phase changing material

RWA: regenweerafvoer

DWA: droogweerafvoer

L_{wa} : geluidsvermogeniveau

SPL of L_{pa} : sound pressure level, geluidsdrukniveau

GVO: gemiddeld vloeroppervlak

Achtergrond

De energietransitie van uitputtende bronnen naar een duurzame en hernieuwbare opwekking is jaren geleden op gang gekomen. De aarde is niet onuitputtelijk en verschillende fossiele brandstoffen minderen drastisch. De negatieve weerslag van deze bronnen heeft weliswaar nog grotere gevolgen. De CO₂-uitstoot moet drastisch dalen indien we de opwarming van de aarde willen neutraliseren, of ten minste afremmen.

Verschuillende onderzoeken, rapporten en field researches worden de laatste jaren gepubliceerd. Onmisbare achtergrond die de energietransitie mogelijk moet maken. Lokale initiatieven en wetgevende kaders bieden hulp om energetische verandering teweeg te brengen.

Dit hoofdstuk focust op interessante invalshoeken en onderzoeken die een duidelijke visie hebben op energietransitie. Uiteenlopende zaken komen aan bod: van doelstellingen tot researches, van cijfergegevens tot publicaties. Op één of andere manier creëren ze nuttige inzichten die het onderzoek naar de integratie van een warmtenet in een stedelijke context op weg helpen.

Klimaatinvloeden

CO₂ is één van de belangrijkste broeikasgassen die het klimaat verstoort. De menselijke activiteiten zoals transport en industrie veroorzaken een stijging van het CO₂-niveau. NASA meet maandelijks de gemiddelde hoeveelheid CO₂ in een meetstation in Hawaï, gemeten in parts per million (ppm). [Figuur 1] [2] De drastische stijging van de koolstofdioxide in de atmosfeer is het gevolg van de industriële revolutie. Voor 1950 bedroeg de gemiddelde concentratie CO₂-deeltjes ongeveer 280 ppm. [3] De laatste voorspellingen schatten voor 2020 een gemiddelde concentratie van 417 ppm. [4] Dat is een stijging van maar liefst 48,9 %. De impact van de laatste 70 jaren heeft immense klimatologische gevolgen: opwarming van de aarde, stijging van de zeespiegel, extreme weersomstandigheden, etc.

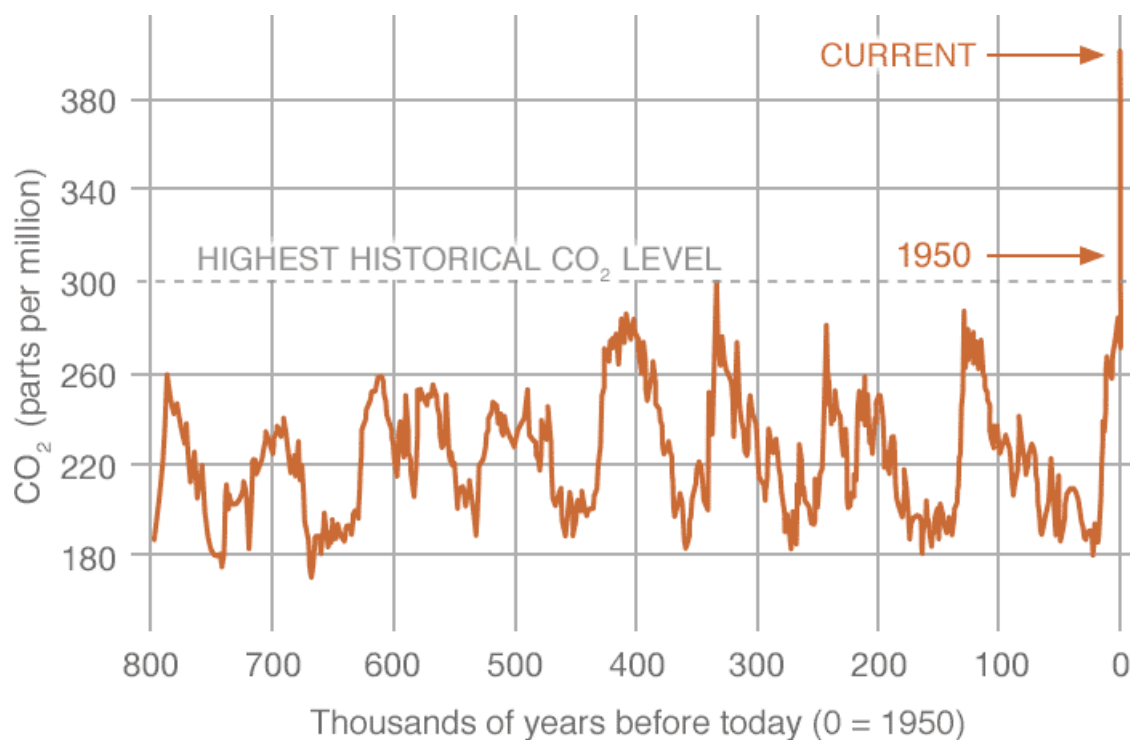
Indien we terug in de tijd gaan, valt de stijging nog meer op. Het historische hoogtepunt van 300 ppm werd ongeveer 350 000 jaren geleden bereikt. Die waarde werd overschreden nog bij het begin van de industriële revolutie. In 800 000 jaren heeft zich geen enkele gelijkaardige piek voorgedaan [Figuur 1]. Naast die piek valt ook de snelheid van de stijging op. De menselijke activiteit van de voorbije eeuw heeft bijzonder veel teweeg gebracht.

Het gebruik van fossiele brandstoffen in verschillende sectoren beïnvloedt de uitstoot van CO₂. Het gebruik van steenkool, aardolie en aardgas is verantwoordelijk voor grote hoeveelheden CO₂-emissies. De transportsector en de industrie worden vaak aangehaald als grote vervuilers, maar de residentiële gebouwen veroorzaken met 25% in 2016 een gelijkaardige CO₂-uitstoot in België. [Figuur 2] Ongeveer 25 MtCO₂ wordt uitgestoten door alle woningen in België ofwel 20,8 % van de totale hoeveelheid CO₂-emissie.

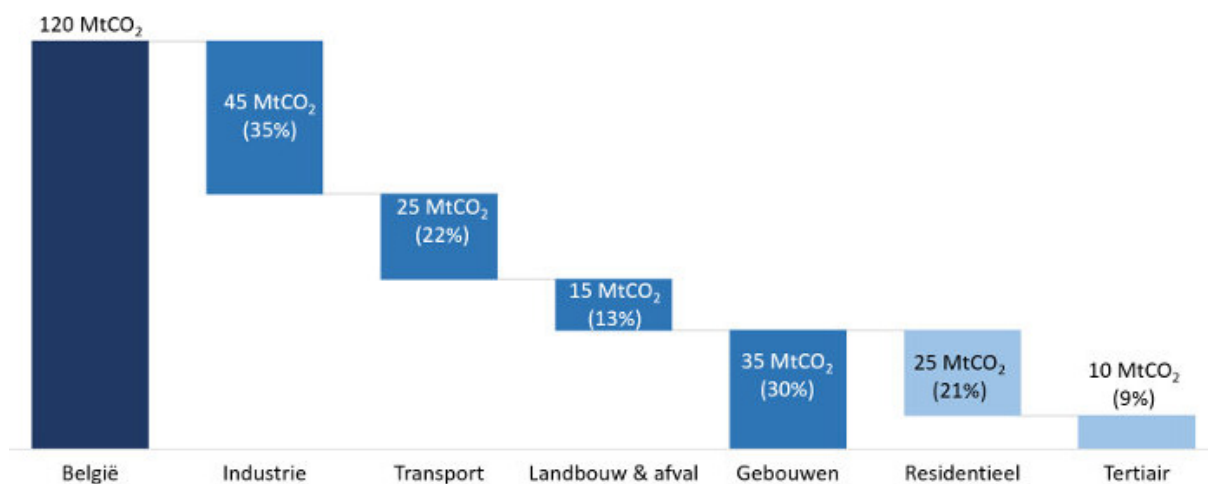
De emissie van CO₂ voor residentiële gebouwen wordt bepaald aan de hand van drie categorieën. Eerst en vooral een directe uitstoot doordat fossiele brandstoffen worden verbrand door verwarmingsinstallaties in de woningen. Ten tweede verhoogt het elektriciteitsgebruik ook de CO₂-uitstoot. Het zijn vooral de elektriciteitscentrales die de vervuiling teweeg brengen, maar het wordt toegewezen aan de woningen. En de derde categorie is moeilijk te kwantificeren omdat het gaat om indirecte uitstoot afkomstig van de productie van bouwmaterialen en het onderhoud van de woningen. De eerste categorie heeft de grootste impact. [5]

Niet elke energiepost heeft dezelfde negatieve impact op de CO₂-uitstoot. Het is dus belangrijk om te kijken welke posten het hoogste energieverbruik hebben en daarenboven te kijken op welke manier de energie wordt opgewekt. De FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie publiceerden in mei 2019 een kort document met daarin enkele belangrijke cijfergegevens (vooral van 2017) in verband met het energiegebruik van de huishoudens in België. [6] Figuur 3 en Figuur 4 geven een duidelijk beeld van de energieverbruikers.

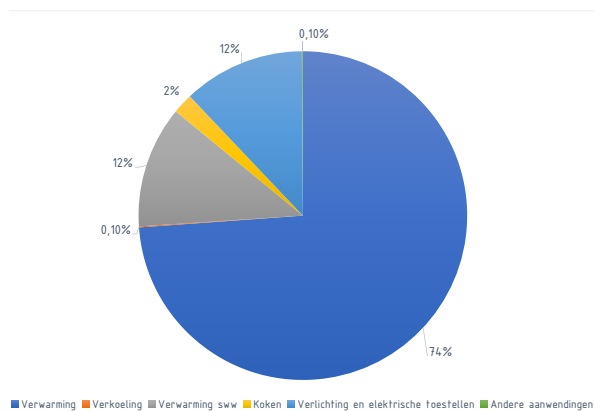
Het grootste deel, bijna driekwart van het energiegebruik, gaat naar het verwarmen van de woningen. Samen met het verwarmen van sanitair warm water (12%) is dit meer dan 85% van het totale energiegebruik. Dat wil zeggen dat de grootste verandering teweeg kan gebracht worden bij de energieopwekking voor verwarming. Daarvoor is het belangrijk om te kijken op welke manier de Belgische huishoudens verwarmen. De grootste opwekkers zijn aardgas (47%) en gasolie (37%). Het gebruik van biomassa heeft een aandeel van 10%. De CO₂-uitstoot van biomassa ligt een stuk lager dan die fossiele brandstoffen. Het aandeel zonnewarmte is amper zichtbaar. De opwekking gebeurt in zeer beperkte mate ecologisch of hernieuwbaar. Amper 0,08% van de Belgische gezinnen maakt gebruik van warmtepompen.



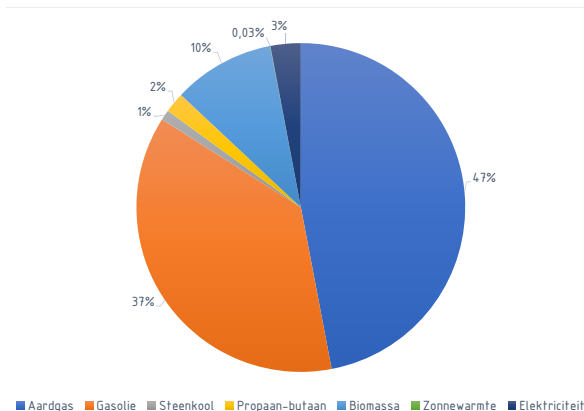
Figuur 1: globale CO₂-niveau met 1950 als basisjaar [ppm] [2]



Figuur 2: CO₂-uitstoot in België in 2016 [5]



Figuur 3: energiegebruik van Belgische gezinnen, 2017 [6]



Figuur 4: energiegebruik voor verwarming in Belgische residentiële gebouwen, 2017 [6]

Klimaatwijken

Klimaatwijken is een studieonderzoek waaraan Labo A van Universiteit Gent, BLAF-architecten en Bureau Bouwtechniek hebben samengewerkt. [7]

Het onderzoek focust op twee belangrijke zaken: enerzijds de energietransitie anderzijds kernversterking en verdichting.

De energietransitie is een gevolg van het interfederaal energiepact opgesteld door de energieministers in 2017. De doelstelling van het pact is erop gericht tegen 2030 een continue, duurzame en betaalbare energievoorziening te verzekeren. Een eerste tussenstap is de nucleaire uitstap van 2025.

Het bestaande woningpatrimonium van Vlaanderen is een belangrijk aspect in de energietransitie. Er zijn al verschillende stappen genomen, vaak gelinkt aan een wetgevend kader. EPC-regelgeving stelt eisen om het energiegebruik van het bestaande weefsel terug te dringen, maar de invloed van deze wetgevende kaders lijken te stabiliseren. Door de aandacht terug te vestigen op het bestaande weefsel, naast de bestaande regels voor nieuwbouw en renovatie, wordt de energietransitie mogelijk.

Verder wil de Vlaamse Overheid inzetten op kernversterking en verdichting als duurzaam alternatief wanneer het gaat over de verdere ontwikkeling van onbebouwde ruimte. Wat wordt hier specifiek mee bedoeld? Door middel van een duidelijk beleidsplan is het mogelijk om het ruimtelijk rendement aan te pakken. De hedendaagse verspreiding staat een duurzame ontwikkeling in de weg. De ruimtelijke structuur kent een relatief lage dichtheid en dat heeft zijn invloed op onder andere het energieverbruik en de uitstoot van broeikasgassen.

Het ideale patroon voor deze klimaatopgave is de wijk. Klimaatmitigatiemaatregelen en -adaptatiemaatregelen zijn nauw met elkaar verbonden. Mitigatiemaatregelen focussen op de reductie van de uitstoot van broeikasgassen die een gevolg zijn van de geïndustrialiseerde wereld. Het gebruik van fossiele brandstoffen, zoals bleek uit het hoofdstuk "Klimaatinvloeden", heeft een grote invloed op de uitstoot van CO₂. Inzetten op de energietransitie is dus van prominent belang. Adaptatiemaatregelen zetten in op het aanpakken en aanpassen van de leefomgeving aan het veranderende klimaat. De gevolgen van de klimaatopwarming zijn onder andere de stijging van de zeespiegel, natuurrampen, stormen, ... Deze aanpassingen zijn urgenter en zullen genomen worden op een korte tijdschaal.

De wijk vormt de cruciale schakel om de beleidsambities te vertalen in werkelijkheid. De individuele woonunits (en de architectuur) vormen de basis om te spreken over de wijk. Twee verschillende schaalniveaus komen samen en daardoor komen enkele complexe zaken naar boven. Individuele gebouwen met particuliere eigenaars zijn onderdeel van een geheel van infrastructuur, publieke voorzieningen en (semi-)publieke ruimte. Dat betekent dat de verantwoordelijkheid bij verschillende partijen te vinden is: burgers, overheden, marktpartijen en civiele organisaties.

In Klimaatwijken (2017) wordt vermeld dat het nog onduidelijk is op welke manier lokale besturen kunnen ingrijpen in het bestaande weefsel en hun ambities kunnen realiseren. Toch zijn pilootprojecten van groot belang: ze creëren mogelijkheden die op grotere schaal en/of in een andere context ingezet kunnen worden.

Het resultaat van dit studieonderzoek werd ook visueel tentoongesteld. [Figuur 5]

Verschillende eindbeelden tonen wat een klimaatwijk kan zijn. Zowel collages als maquettes werden als instrument gebruikt.



Figuur 5: presentatiemaquette eindrapport Klimaatwijken [7]

Klimaatwijken (2017) omvat een reeks handelingen die het mogelijk maakt om de transitie in realiteit om te zetten zodat een verduurzaming van het bestaande weefsel wordt ingeleid. Om beter vat te krijgen op het begrip wordt in de studie gesproken over een klimaat- en een wijkreflex.

De klimaatreflex wordt aan de hand van een eenvoudig stappenplan uit de doeken gedaan. De transformatie zet niet enkel in op de gebouwde omgeving, maar ook op het energiesysteem, het mobiliteitsvraagstuk, de aanwezigheid van groen en water, het gebruik van grondstoffen en afvalverwerking. Al deze factoren komen samen in het Trias Plus model. Dit is een hiërarchisch stappenplan dat meestal in de context van energietransitie wordt gebruikt en is een uitbreiding van het Trias Energetica model¹.

Het Trias Plus model omvat een vijfstappenplan:

STAP 1: behoeftereductie

Duurzaam bouwen start bij het reduceren van de energiebehoefte, watervraag, grondstoffen, afval, ruimte en mobiliteit. In principe een zeer eenvoudige stap, maar het vergt de integratie van enkele innovatieve technieken.

STAP 2: inzetten op hernieuwbare oplossingen

Hernieuwbare oplossingen worden ingezet met aandacht voor circulariteit en linken tussen systemen die vaak ontbreken.

STAP 3: optimalisatie van niet-hernieuwbare oplossingen

Indien alles is gedaan om te besparen en zoveel mogelijk is ingezet op duurzame oplossingen is dit de laatste stap. De rest proberen zo efficiënt mogelijk te laten werken en het gebruik van niet-hernieuwbare bronnen compenseren.

STAP 4: risicobeheer

Deze stap is een toevoeging van het oorspronkelijk Trias Energetica. De vierde stap vergt een degelijk bestuur die de inspanningen van de klimaatveranderingen in kaart brengt en een risicoanalyse opmaakt.

STAP 5: meerwaardecreatie

Menselijke inspanningen laten sporen na: ecologisch, sociaal, cultureel en economisch kapitaal wordt opgebouwd en gedeeld in de samenleving. De laatste stap zet in op de articulatie van de meerwaarde naar de samenleving.

De wijkreflex zoekt bij een concreet project naar de eigenheid van de wijk, maar stuurt ook aan om voorbij de eigen grenzen te denken. De gelaagdheid maakt de wijk eigen en particulier. Elke wijk is duidelijk te herkennen door de karakteristieke inrichting. Naast de puur architecturale en ruimtelijk aspecten duiken er ook menselijke factoren op: de wijk wordt vormgegeven door haar bewoners. De locatie speelt een belangrijke rol, maar de sociale samenhang mag zeker niet onderschat worden.

Die verwevenheid in de wijk impliceert duidelijke gevolgen: ingrepen beperken zich nooit exclusief tot één functie of één bouwtype. Bovendien kunnen de grenzen van de wijk vervagen doordat bepaalde functies of componenten invloed hebben tot (ver) buiten de wijk. De wijk is altijd deel van een groter geheel.

¹ Trias Energetica is een drievoudig stappenplan om energie zo optimaal te benutten. Stap 1 is het beperken van het energiegebruik. Stap 2 zet in op het gebruik van hernieuwbare energiebronnen en de derde stap is het efficiënt gebruiken van eindige energiebronnen. [8]

Wie is verantwoordelijk voor de klimaat- en wijkopgave? Deze vraag heeft geen eenduidig antwoord. Zoals eerder aangehaald zijn er verschillende verantwoordelijkheden die samenkomen in de gelaagdheid van de wijk. De verdeelde verantwoordelijkheid is één van de belangrijkste barrières om te komen tot een klimaatwijk. Er zijn meerdere actoren aan zet in de wijk die in een duidelijk processchema naar voren worden gebracht. [Figuur 6]

De verschillende actoren worden hierin aangehaald en krijgen een duidelijke rol toegewezen. Het instrumentarium duidt welke middelen kunnen aangewend worden in het onderzoek. Overheden hebben een prominente rol in het verhaal. Het inzetten van lokale overheden, bijgestaan door de Vlaamse Overheid, biedt mogelijkheden. Ze kunnen de rol van publiek entrepreneur opnemen en proactief ingrijpen in huidige ontwikkelingen. Ze hebben als publieke actor de meeste hefboomen in de wijk zodat er sneller tot actie kan worden overgegaan. Daarnaast hebben gebruikers en eigenaars ook een rol in het verhaal. Ze maken gebruik van nieuwe ontwikkelingen en kunnen dus ook informeren in welke mate die aanpassingen werken. Kennisinstellingen evalueren uiteindelijk een bepaald project of studie.

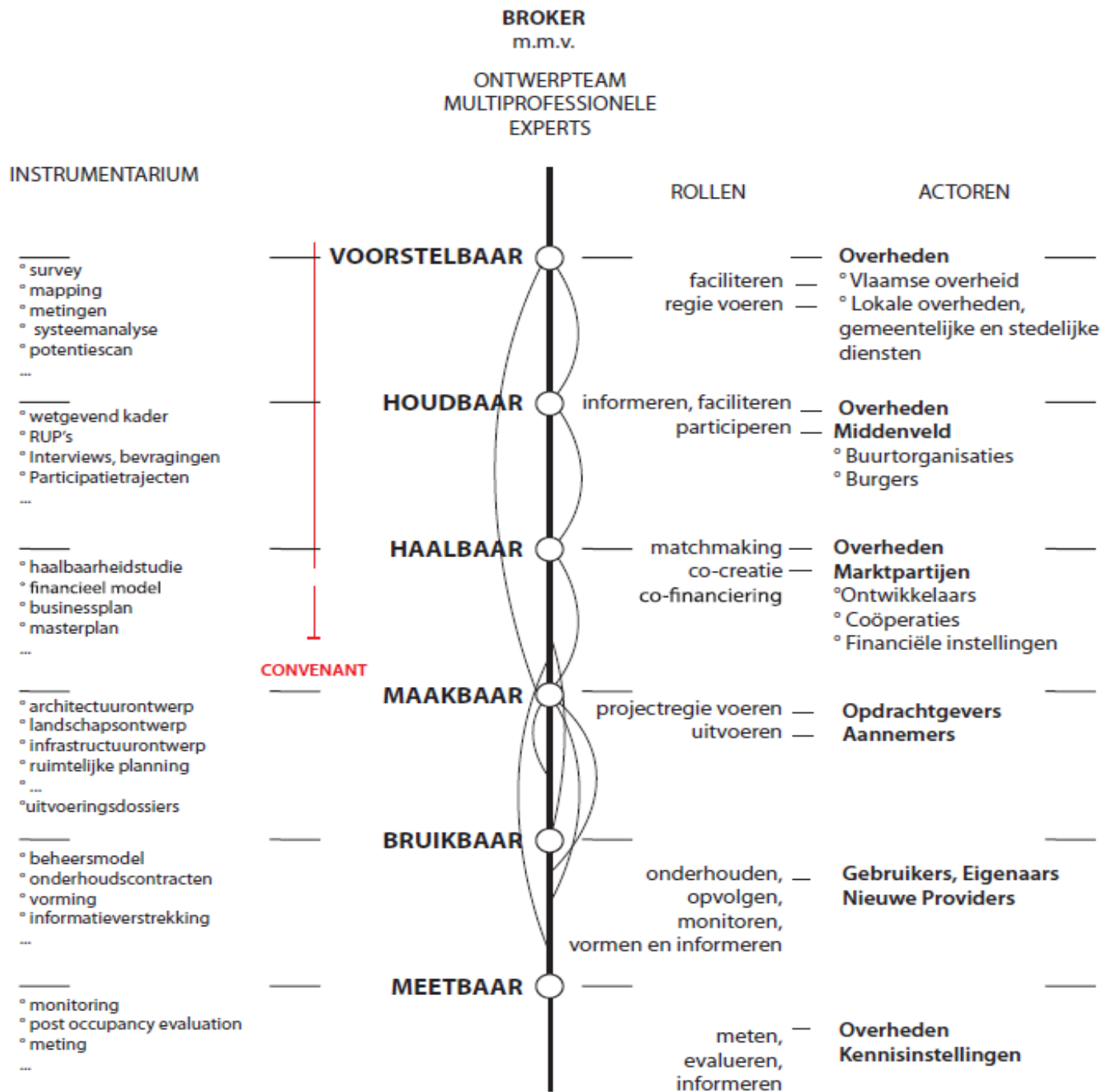
Een belangrijke functie staat bovenaan in het schema. De broker, een onafhankelijke partij, heeft een regisseursrol en leidt het proces. Gedurende de verschillende stappen waakt hij over het proces waarin hij vaak wordt bijgestaan door een ontwerpteam en een groep van experts. De broker is in staat om koppelingen te maken tussen verschillende beleidsniveaus en overheidssectoren. Als centrale figuur zorgt hij/zij er ook voor dat alle info correct wordt doorgespeeld.

Verder wordt er in Klimaatwijken (2017) gesproken over het opmaken van een wijkconvenant. Het is vormgegeven als een doelgericht actieplan waarin de verschillende leden van de opdrachtgeverscoalitie verantwoordelijkheden opnemen. De convenant geldt dus als de aanleiding tot omzetting naar de realisatie van de klimaatwijk.

De modus operandi, de dikke zwarte lijn, van de klimaatwijk is bij uitstek het ontwerpend denken. Een zestal stappen zetten het proces op gang:

- a. voorstelbaar maken: in kaart brengen van opgaves
- b. houdbaar maken: het vinden van een maatschappelijk draagvlak bij de burgers
- c. haalbaar maken: kosten en baten inschatten
- d. maakbaar maken: de deelprojecten uitwerken
- e. bruikbaar maken: beheermodellen ontwikkelen en vormingstrajecten opzetten om een optimale ingebruikname mogelijk te maken.
- f. meetbaar maken: een evaluatie na ingebruikname

Deze taken maken de overgang van een verkennend onderzoek naar een werkelijke realisatie mogelijk. Door duidelijk grenzen en taken voorop te stellen is het evidentier om de juiste actoren naar voren te schuiven. Het uitvoeren van hun rol wordt ondersteund door een instrumentarium dat ze hanteren. De convenant, het kader waarbinnen verantwoordelijkheden worden opgenomen, geeft een duidelijke aanleiding tot realisatie. Het aanduiden van een broker, de regisseur, creëert een vlotte samenwerking en een correcte uitwisseling van informatie tussen de verschillende actoren.



Figuur 6: Processchema [7]

De gelaagdheid van de wijk en de verschillende verantwoordelijkheden kunnen ook visueel duidelijk worden gemaakt. De verschillende verantwoordelijkheden en stakeholders vloeien voort uit een analyse van de wijk. Die veelzijdigheid is al eerder aangehaald en is eigen aan een wijk. Private eigenaars, overheden, marktpartijen en civiele organisaties hebben invloed in de wijkinfrastructuur.

In het grafisch dossier wordt duidelijk gemaakt wie aan zet is in de wijk. Daarvoor wordt een onderscheid gemaakt in typeweeffels: het horizontaal bouwblok, het verticaal bouwblok, verkaveling en lint. Voor elk typeweeffsel wordt er gekeken naar drie lagen: het gebouwenbestand, het nederzettingsspatroon en de onderlegger. Die opsplitsing in lagen geeft weer welke stakeholders aan zet zijn in een welbepaald typeweeffsel.

De vier typeweeffels komen het meeste voor in de Belgische wooncultuur en bieden ruimte voor renovatie:

- horizontaal bouwblok: een fijnmazig netwerk doorgaans dichtbij de centrumsteden, gekenmerkt door een culturele diversiteit. Het gebouwenbestand kwam in hoofdzaak tot stand in de negentiende eeuw. De densiteit verleent zich optimaal tot een energetische renovatie. Het ontpitten van de binnengebieden kan hieraan gekoppeld worden zodat er opnieuw open ruimte vrijkomt.
- verticaal bouwblok: ondersteund door de uitvinding van de lift en de industriële prefabricatie was het mogelijk om in de hoogte te bouwen. De vaak goede locatie en hoge dichtheid op kleine oppervlakte maken dergelijke projecten duurzaam. Vanuit energetisch standpunt zijn deze twintigste eeuwse gebouwen sterk verouderd en toe aan vernieuwing.
- verkaveling: gekenmerkt door een verknijpte structuur en een weinig verdichte typologie die vandaag sterk onder druk staat. Zulke typewoningen werden in de tijd massaal gebouwd en verkocht en komen bijna tegelijkertijd terug op de markt waardoor het woonweeffsel opnieuw kwalitatief verdicht kan worden. Ze nemen veel ruimte in beslag omdat de meeste gebouwen vrijstaand zijn. Dit type is weinig dicht en compact, economisch en ecologisch weinig performant.
- lint: ontstaan langs de invalswegen van de steden in de nabijheid van nutsinfrastructuur en verkeersknooppunten. Verschillende schaalniveaus komen voor in dit typeweeffsel. Een uitdaging, maar het bevat zeker ook opportuniteiten om nieuwe koppelingen te maken en deze gebouwen op een meer kwalitatieve manier te ordenen. Nadelen zoals verspreiding blijken uit de aanleg voor nutsleidingen. Verder zijn de maatschappelijke kosten hoog door de verspreiding van de functies. Qua weginfrastructuur is er opvallend weinig variatie te bieden. De energietransitie mogelijk maken in deze verdunde stedelijkheid vergt inspanning.

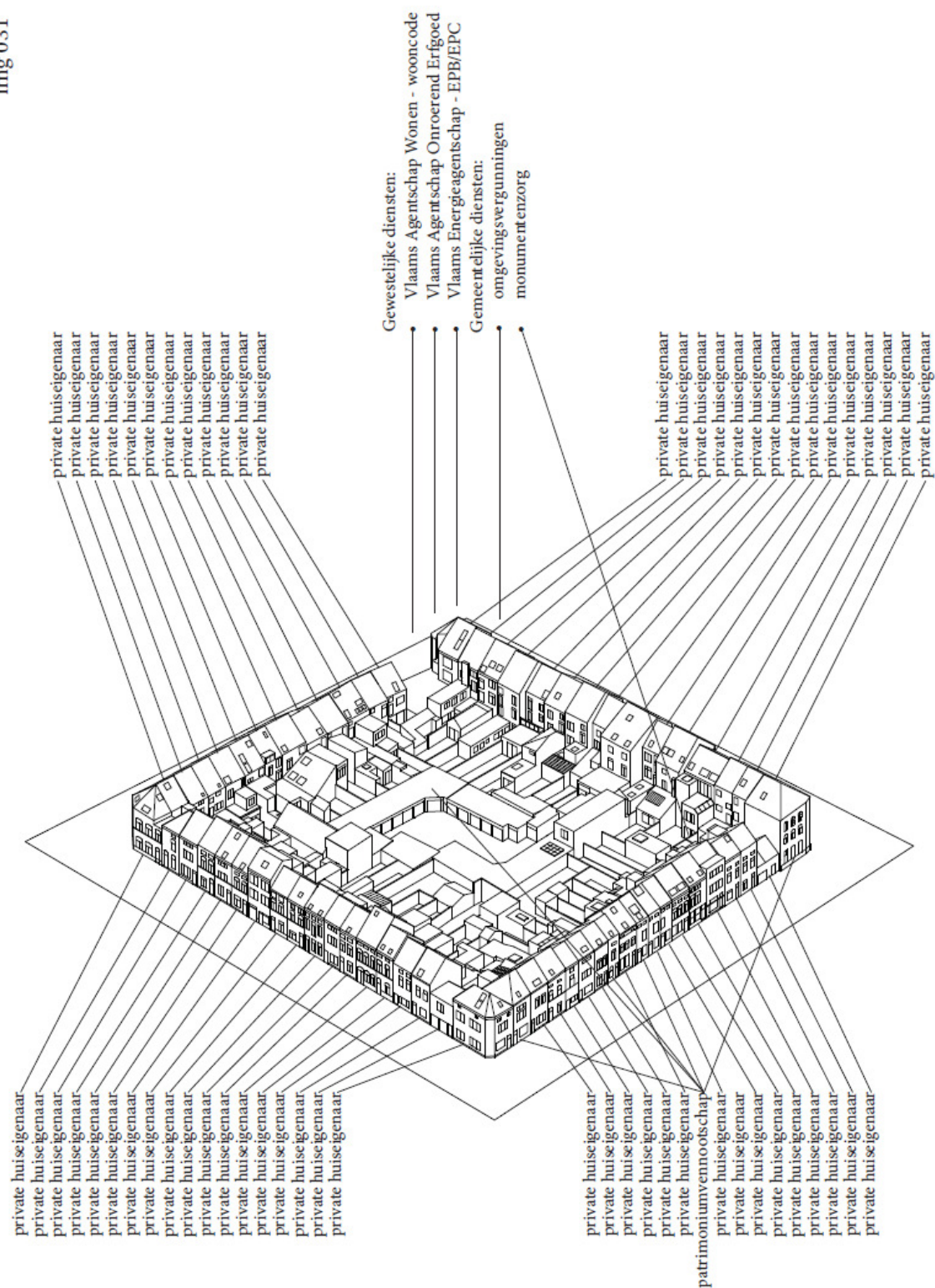
Elk van de vier typeweeffels wordt opgesplitst in drie lagen die met elkaar verweven zijn. De ruimtelijke opgave heeft betrekking op talloze aspecten van de maatschappij en om die opgave duidelijker vorm te geven worden de drie lagen aangeduid: gebouwenbestand, nederzettingsspatroon en onderlegger.

- Het gebouwenbestand duidt de fysiek gebouwde omgeving aan. Bij een energetische renovatie gaat het naast de gebouwschil, comfort, binnenklimaat en bouwtechnologie ook om volumetrische aspecten. De aandacht wordt gevestigd op dichtheid, compactheid en oriëntatie.
- Het nederzettingsspatroon toont hoe verschillende menselijk activiteiten zoals wonen en handel fysieke ruimte hebben ingenomen. Bovendien worden die activiteiten door allerlei regels gereguleerd. De activiteiten kunnen opgevat worden als een hardware gestuurd door duidelijk afgebakende regels: de software.
- Ten slotte wordt de onderlegger gedefinieerd. Simpel gezegd is het niets meer dan het gegeven natuurlandschap. Het toont wat er aanwezig was voordat de mens ging ingrijpen in het rurale landschap. Hetgeen de onderlegger vormt is afhankelijk van de geologie en topografie.

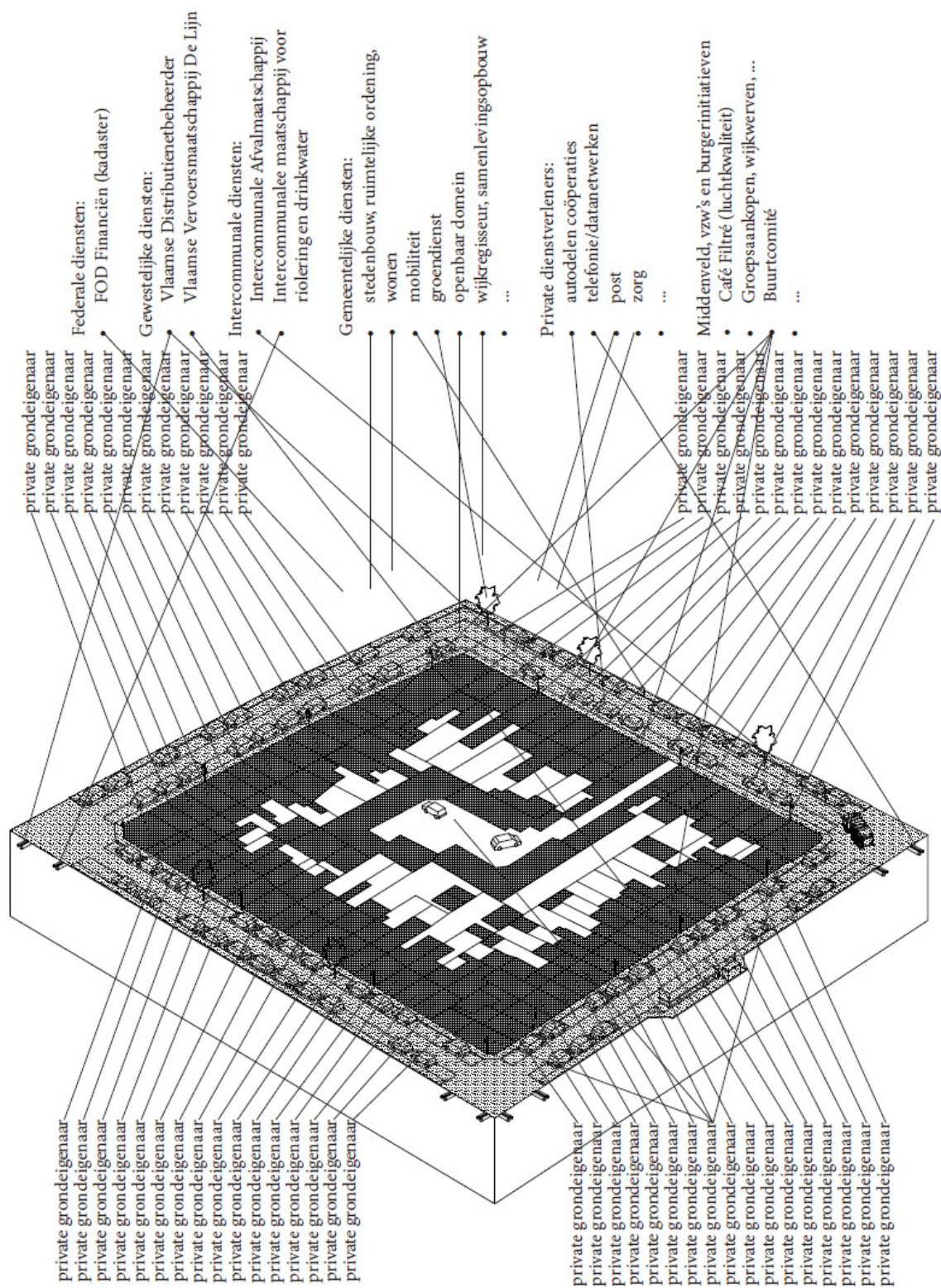
Het voorbeeld dat het beste aansluit bij mijn casestudy¹ is het horizontale bouwblok. Een verzameling van wooneenheden met meestal één eigenaar en één type gebruik met een relatief hoge dichtheid is kenmerkend voor verschillende Vlaamse steden. Vele bouwblokken kennen een diverse bevolkingssamenstelling. Energiearmoede is een terugkerend probleem bij dit typeweeftel en vergt de nodige aandacht. Dit type weeftel leent zich er vaak toe om energetisch geoptimaliseerd te worden. In de verschillende lagen komen de diverse actoren aan bod:

- Het gebouwenbestand [Figuur 7] wordt in hoofdzaak gekenmerkt door private huiseigenaars. Ook enkele gewestelijke diensten kunnen opduiken in de wijk.
- Het nederzettingsspatroon [Figuur 8] toont een andere complexiteit. Hierin duiken dezelfde private grondeigenaars op. Daarnaast zijn er verschillende andere stakeholders aan zet in de wijk: federale, gewestelijke, intercommunale en gemeentelijke diensten alsook private dienstverleners en vzw's.
- De onderlegger [Figuur 9] toont een beperkt aantal stakeholders: gewestelijke diensten zoals het Vlaams Energielandschap, Ruimte Vlaanderen, Vlaamse Milieumaatschappij en Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij.

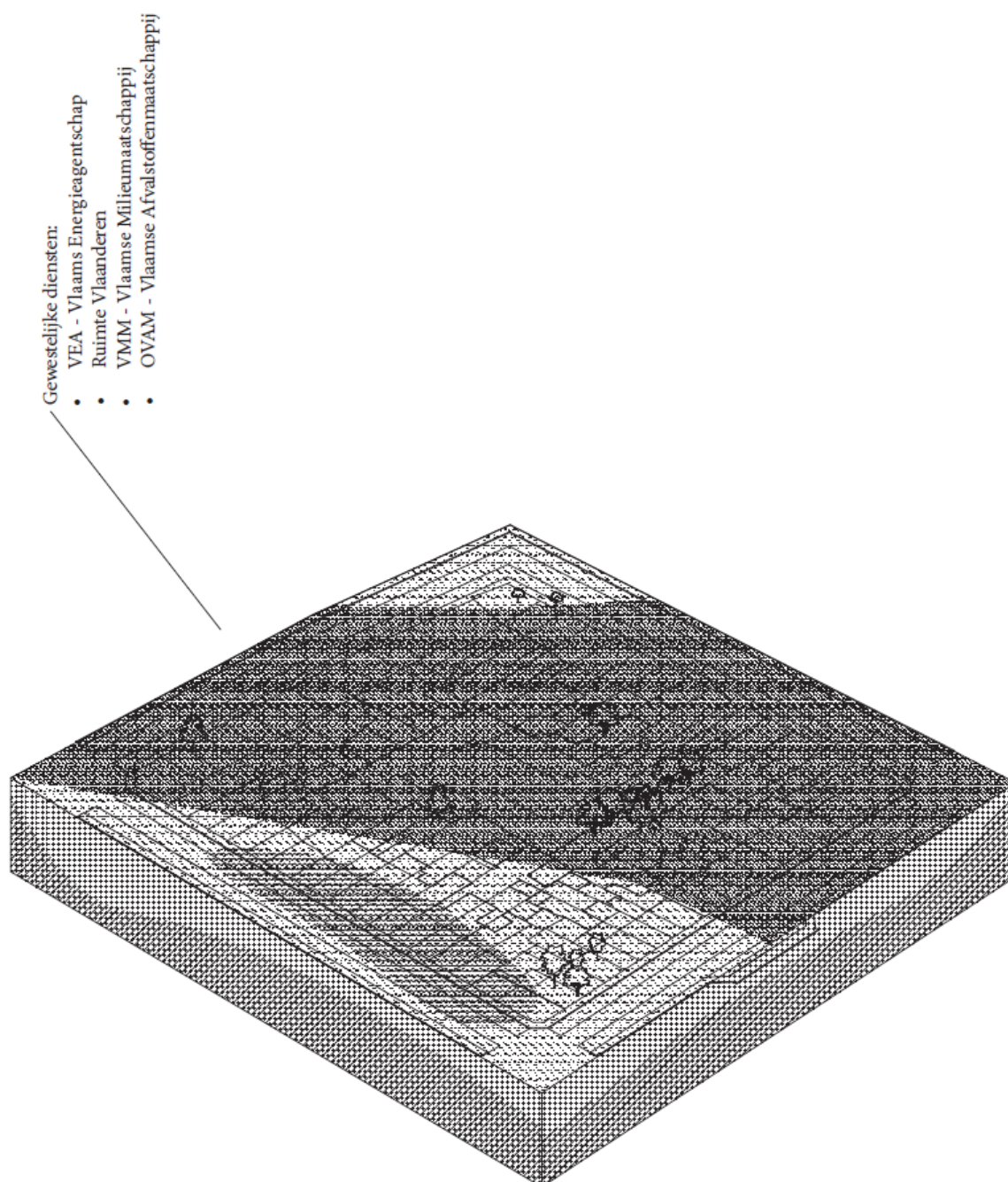
¹ De casestudy wordt verder in deze thesis uit de doeken gedaan.



Figuur 7: gebouwenbestand van het horizontaal bouwblok [7]



Figuur 8: nederzettingsspatroon van het horizontaal bouwblok [7]



Figuur 9: onderlegger van het horizontaal bouwblok [7]

RUP: stad Antwerpen 2012

Het ruimtelijk uitvoeringsplan 2060 van Antwerpen, een toelichtingsnota van 2012, is van toepassing op het noordelijke gedeelte van de negentiende eeuwse stadsgordel. De wijken Amandus-Atheneum en Stuivenberg zijn deel van de site. [9]

De afgelopen jaren heeft het plangebied veranderingen opgetekend. De aanpak van de sociale achterstand en de bijhorende ruimtelijke problemen stelde de site in een nieuw daglicht. De uitbreiding van het Centraal Station, de heraanleg van de Leien en andere pleinen en straten zijn slechts enkele voorbeelden. Ook lokale privé-ontwikkelingen werden gesteund vanuit de stadsvisie. Wisselend succes bracht verbetering op verschillende schaalniveaus in de stad.

Een duidelijk signaal kwam vanuit verschillende administratieve diensten. Het ruimtelijk uitvoeringsplan vormt een cruciaal document binnen de revitalisering van de zone 2060. Dergelijk juridisch kader kan bijdragen tot een evenwichtige verweving van stedelijke functies en leidt een aantal ruimtelijk mechanismen in goede banen. Het RUP presenteert een globale visie waarin acties staan geformuleerd die zowel economisch als sociaal zijn gegrond.

Via een kwalitatieve en kwantitatieve omgevingsanalyse werd het projectgebied in kaart gebracht. Kaarten, tabellen, terreinopnames,... werden vergeleken met elkaar. Onderwerpen zoals wonen, voorzieningen, economie, mobiliteit, ... komen uitgebreid aan bod. Pijnpunten en tekorten worden duidelijk in kaart gebracht. Omdat absolute cijfers vaak vervormde modellen weergeven zijn relatieve analyses beter in te schatten. Deze analyse heeft een bredere draagkracht omdat bevolkingsdichtheid en oppervlaktes worden meegerekend. De referentiemodellen leggen de werkpunten van de wijk bloot en geven duiding waar er ingegrepen moet worden. Aan de hand van een ruimtelijk structuurplan worden de resultaten in kaart gebracht.

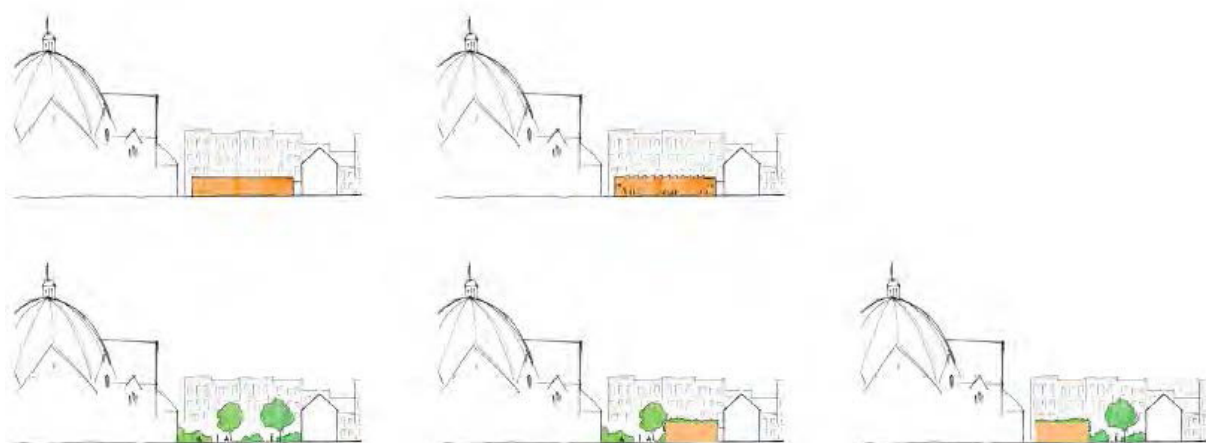
Een handvol uitgangspunten primeren in het RUP 2060, geconcretiseerd vanuit het ruimtelijk structuurplan:

- het garanderen van de (functionele) diversiteit.
- een evenwichtige balans tussen concentratie en deconcentratie van handel en recreatie.
- het stimuleren van de lokale handel.
- de verhoging van het groen in de dense stadsbouwblokken om extra openbare ruimte te creëren in combinatie met het ontpitten van binnengebieden op perceelsniveau.

In het kader van deze masterproef is het laatste programmapunt interessant. De leefkwaliteit van steden hangt samen met de hoeveelheid groen. 2060 is een bijzonder denses gebied waardoor de nood aan privaat en publiek groen steeds toeneemt. Perceelsgewijs kan ingezet worden op ontpitten: minder diep bouwen zodat de hoeveelheid groene ruimte en tuinen relatief toeneemt. [Figuur 10] Vervolgens wordt ingezet op extra groen op bestaande pleinen en straten. Ook extra open ruimte creëren staat hoog op de agenda. [Figuur 11]

Het voorkeepsrecht is een voet achter de deur voor de stad Antwerpen. Ze kunnen percelen aankopen die bouwblokken laten dichtslippen. Strategische panden kunnen een belangrijke schakel vormen in de herontwikkeling van (een groot deel van) een bouwblok. Naast deze bouwblokprojecten kan het voorkeepsrecht ook uitgeoefend worden voor ontpittingsprojecten. Inzetten op groenere binnengebieden vormt een ecologische stapsteen. Dit recht kan groene ruimte creëren op privaat, publiek of collectief niveau.

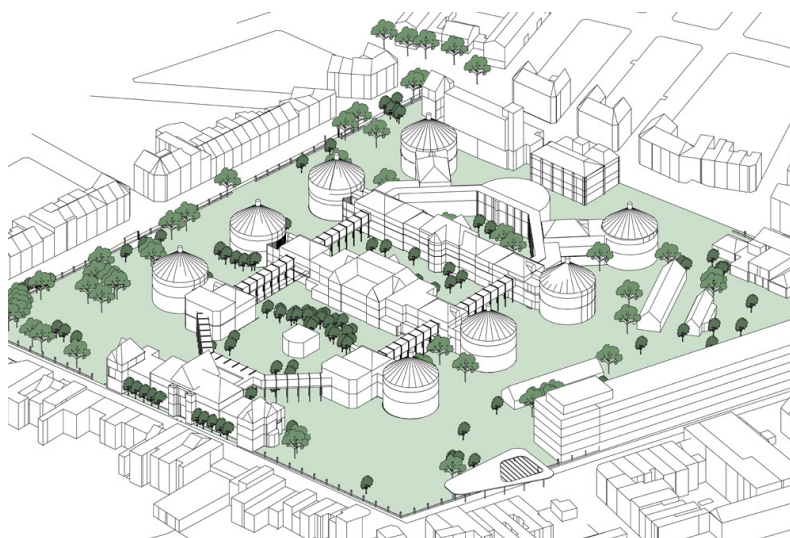
Ter vervollediging kan het voorkeprrecht ook ingezet worden om de functionele diversiteit te verhogen. Een belangrijk projectgebied binnen 2060 is de site Stuienberg. [Figuur 12] Het ziekenhuis zal op termijn de site verlaten waardoor er ruimte vrijkomt voor andere noodzakelijke functies. Het tekort aan buurt- en wijkvoorzieningen is een gevolg van de hoge densiteit van de wijk. Via het RUP legt de stad een aantal regels op om de herontwikkeling te sturen en beter af te stellen op de noden van de omgeving. Zo zal minstens 50% van de gebouwde ruimte een maatschappelijke functie moeten herbergen. 60% van de site is onbebouwd en zal ingezet worden als publiek groen.



Figuur 10: fictief voorbeeld van mogelijkheden voor voorkeprrecht [9]



Figuur 11: fictief voorbeeld voorkeprrecht voor groene ruimte te ontwikkelen [9]

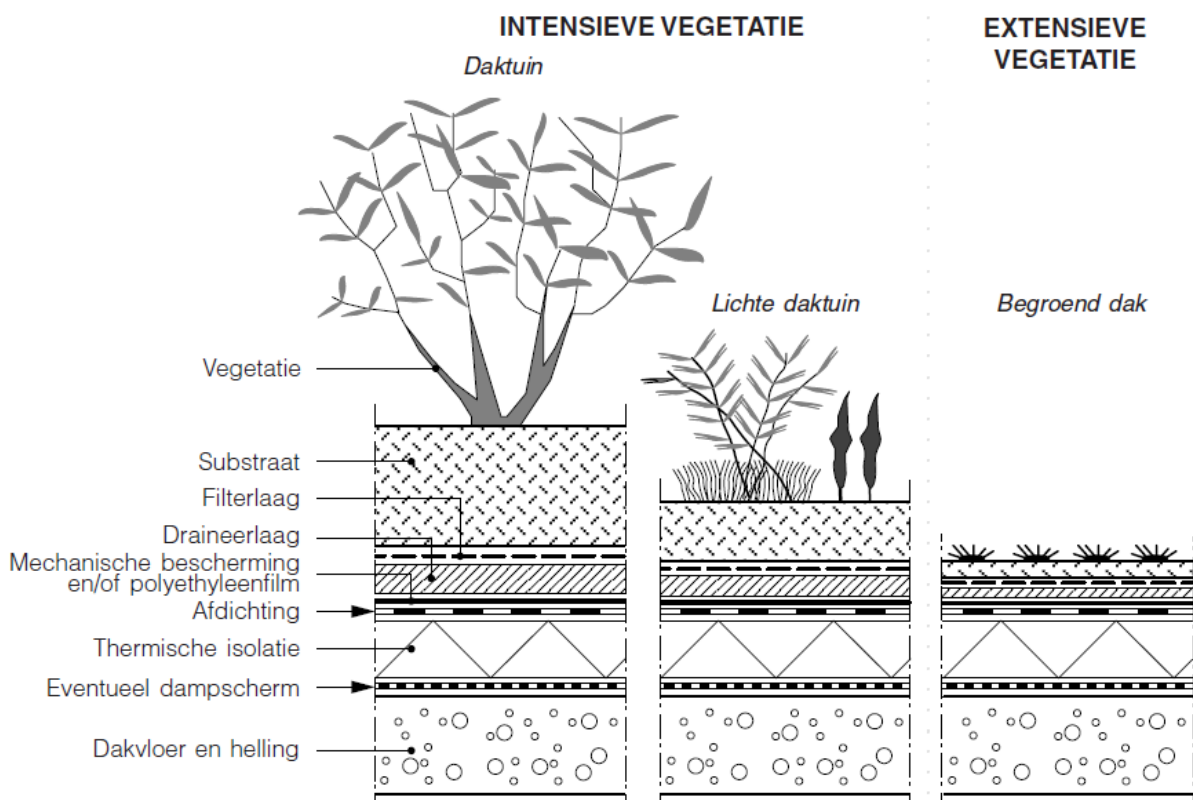


Figuur 12: ontwerpshets van de herontwikkeling van de Stuienbergsite [9]

Groendaken

Het WTCB publiceerde een resem technische voorlichtingen. Deze documenten vormen een leidraad voor de correcte uitvoering van allerlei werken in de bouwwereld. Verschillende thema's komen aan bod: pleisteren op buitenisolatie, luchtdichtheid, vocht in gebouwen, platte daken, buitenschrijnwerk, ... De TV 229 gaat over groendaken. [10]

Drie verschillende types groendaken worden aangehaald in Groendaken (2006): extensief en intensief (daktuin en lichte daktuin als onderverdeling). Het visuele verschil is zichtbaar in de vegetatie en de dikte van de lagen boven de afdichting.



Figuur 13: Schematische weergave van een daktuin, een lichte daktuin en een begroend dak [10]

De variërende dikte van de lagen boven de afdichting [Figuur 13] heeft een direct gevolg op de permanente belasting en het eigengewicht van een groendak. De dikte van de substraat- en draineerlaag varieert van $\geq 0,25$ m bij een daktuin, tot $\leq 0,10$ m bij een begroend dak. De waarde van een lichte daktuin schommelt tussen beide waarden. Bij een nieuwbouw moeten deze overwegingen duidelijk becijferd worden zodat de structuur het gewicht van de daktuin kan dragen. In renovatieprojecten is een daktuin vaak onmogelijk door het eigengewicht (richtwaarde $> 400 \text{ kg/m}^2$). De intensieve vegetatie vergt ook een groter onderhoud wat een veilige toegang impliceert.

De voor- en nadelen zijn interessant op vlak van renovatiemogelijkheden. Enkele belangrijke voordelen zijn de levenskwaliteit en diversiteit, een efficiënte waterhuishouding en een verhoogd comfort in het gebouw. Het belangrijkste nadeel is de brandveiligheid. Verder worden onderhoud en de detaillering ook als nadelen beschouwd.

De impact van een groendak op de leefomgeving is niet te onderschatten. In dense gebieden of wijken met weinig groene zones bieden groendaken een esthetisch voordeel. Ze geven vaak de indruk van een groene omgeving in stedelijke omgeving. Vervolgens hebben begroende daken ook een gunstige invloed op de luchtkwaliteit, biodiversiteit en de ontwikkeling van een dierlijke en plantaardige biotoop.

Groendaken reduceren ook de totale hoeveelheid afgevoerd regenwater en verminderen het piekdebiet van stortbuizen. De belasting op het waternetwerk daalt, wat vooral gunstig is bij zwakke punten. Verder zal er niet worden ingegaan op dit specifiek voordeel.

Een belangrijk voordeel, in het kader van deze studie, is het verhoogd comfort dat behaald kan worden door de toepassing van een groendak. De thermische voordelen hebben een gunstige invloed op het energieverbruik in de woning. Groendaken zijn thermisch inert, leveren een bijdrage tot het verdampingsproces en reduceren het invallende zonlicht. Dit creëert een daling in de energiebehoefte en verhoogt het comfort in de woningen.

De werkelijke invloed is afhankelijk van het type dak: intensief of extensief. Daarnaast speelt ook het seizoen een belangrijke rol. Winter- of zomersituatie leveren andere resultaten op qua comfort en temperatuur:

- 's Winters: de bijdrage tot de thermische isolatie blijft beperkt in het geval van een extensieve vegetatie. De geringe dikte van de samenstellende lagen van het groendak zijn daarvoor deels verantwoordelijk. Ook de intrinsieke thermische karakteristieken zijn eerder beperkt: het watergehalte en de waterafvoer van het substraat zorgen voor een dalend isolerend vermogen. (Lichte) daktuinen hebben een grotere thermische inertie als gevolg van de dikkere samenstellende lagen en kunnen het energieverbruik van de woning reduceren.
- 's Zomers: eerst en vooral hebben groendaken een hoge warmteweerstand en een betere thermische inertie dan standaard platte daken. Bovendien absorbeert het dak veel minder invallende zonnestralen. Het type vegetatie en gebladerte bepaalt de absolute vermindering van zonnewinsten.

Groendaken kunnen ook een natuurlijke vorm van afkoeling bieden. Dat proces komt tot stand doordat het water via de planten in damp wordt omgezet en een lagere luchttemperatuur veroorzaakt onder de vegetatie.

Al deze factoren dragen bij tot een verhoging van het thermische comfort in een gebouw en tot een reductie van het energieverbruik van eventuele airconditioningsystemen. De esthetische voordelen, voornamelijk in dense stadsdelen, hebben een positieve invloed op de levenskwaliteit.

De invloed van thermische prestaties wordt duidelijk aangetoond aan de hand van een meetcampagne die in het proefstation in Limelette werd uitgevoerd op verschillende types groendaken. Om een correcte inschatting te maken van de verschillende daktypes werden ze aan dezelfde atmosferische omstandigheden en identieke binnentemperaturen blootgesteld:

- naakt plat dak
- door een grindlaag beschermd plat dak
- groendak met licht intensieve vegetatie (substraat = 8 cm + draineerlaag = 2 cm)
- groendak met intensieve vegetatie (substraat = 20 cm + draineerlaag = 10 cm)

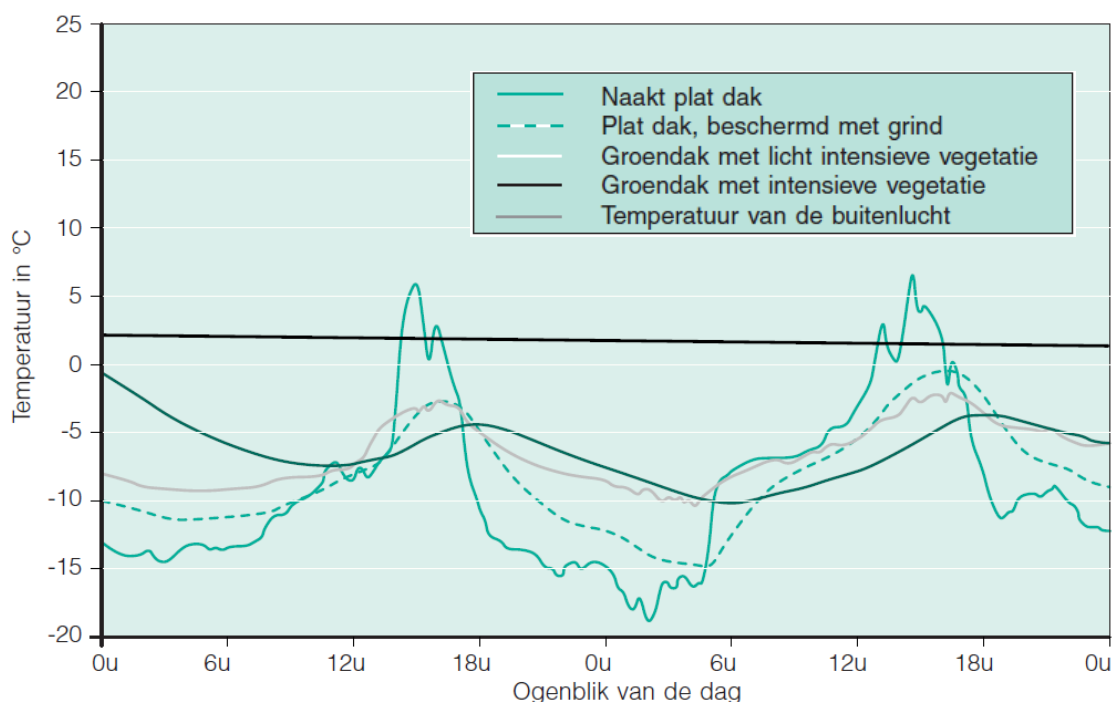
Figuur 14 en Tabel 1 tonen de resultaten van metingen uitgevoerd op twee koude winterdagen. De gunstige invloed blijkt vooral bij het groendak met een intensieve vegetatie door de thermische inertie van de dikte van de samenstellende lagen van het groendak. De temperatuur van het dichtingsmembraan blijft gedurende de meetperiode quasi constant en gemiddeld gezien hoger dan de andere types daken.

Nog een opvallend resultaat is de temperatuur van het dichtingsmembraan van het naakt dak. Die temperatuur ligt 's nachts enkele graden lager dan de buitentemperatuur als gevolg van de infraroodstraling van het membraan naar de hemelkoepel.

De keuze voor een groendak kan een invloed hebben op de energieconsumptie van woningen waardoor het verwarmingssysteem kleiner kan gedimensioneerd worden.

Figuur 15 en Tabel 2 tonen de resultaten van metingen uitgevoerd op twee warme zomerdagen. Hieruit kunnen enkele zaken worden afgeleid: de temperatuur van het membraan kan bij het naakt dak oplopen tot ± 70 °C. Een grindlaag laat de maximale temperatuur al lichtjes dalen. Een dak met licht intensieve vegetatie reduceren zowel de maximale temperatuur als de dagelijkse temperatuurschommelingen. De temperatuur van het intensieve groendak blijft quasi constant tijdens de metingen. Uit Tabel 2 blijkt de gemiddelde temperatuur van een intensief groendak 9,2 °C lager te liggen als het naakt dak.

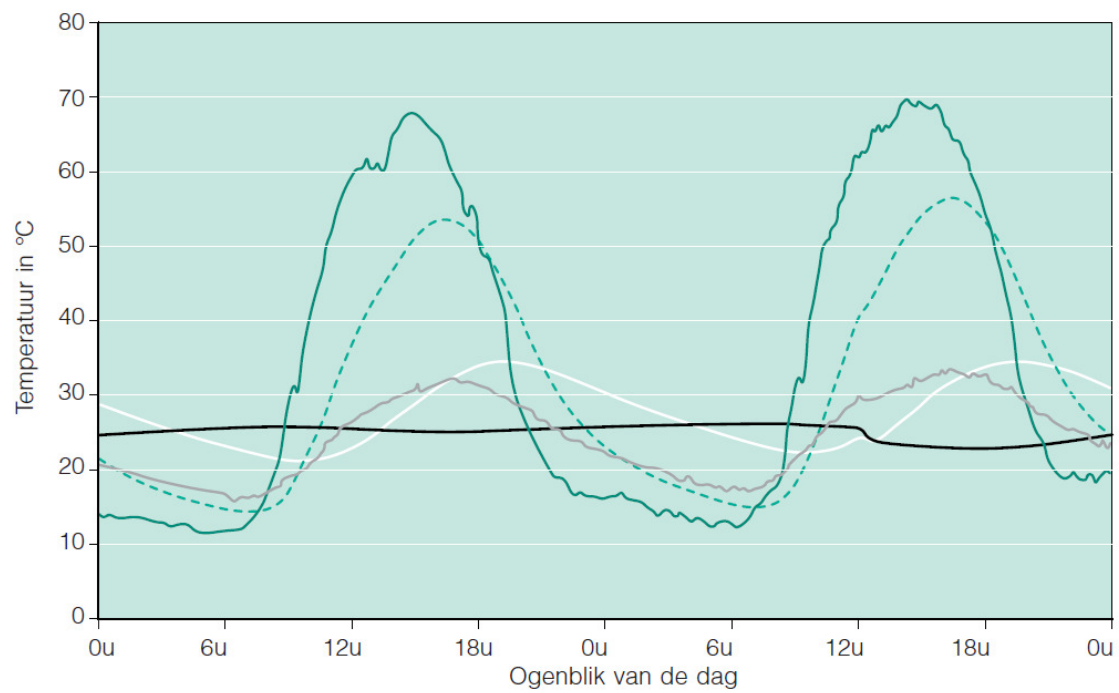
Hierdoor kunnen eventuele koelsystemen kleiner gedimensioneerd worden en neemt het zomercomfort toe.



Figuur 14: Temperatuurprofielen van het dichtingsmembraan tijdens de winter [10]

NAAKT DAK	DAK MET GRINDLAAG	LICHT INTENSIEF GROENDAK	INTENSIEF GROENDAK
-9,2 °C	-8,4 °C	-6,2 °C	+1,7 °C

Tabel 1: Gemiddelde temperatuur van het dichtingsmembraan in de winter [10]



Figuur 15: Temperatuurprofielen van het dichtingsmembraan in de zomer [10]

NAAKT DAK	DAK MET GRINDLAAG	LICHT INTENSIEF GROENDAK	INTENSIEF GROENDAK
34,3 °C	31,6 °C	27,8 °C	25,1 °C

Tabel 2: Gemiddelde temperatuur van het dichtingsmembraan in de zomer [10]

Hitte-eiland effect

Het hitte-eiland effect is typerend voor dense stadsdelen. In steden ligt de gemiddelde temperatuur hoger (vooral 's avonds en 's nachts) dan in omringende landschappelijke dorpen. Dit effect is onderzocht door VITO. [11] De belangrijkste resultaten worden hieronder samengevat.

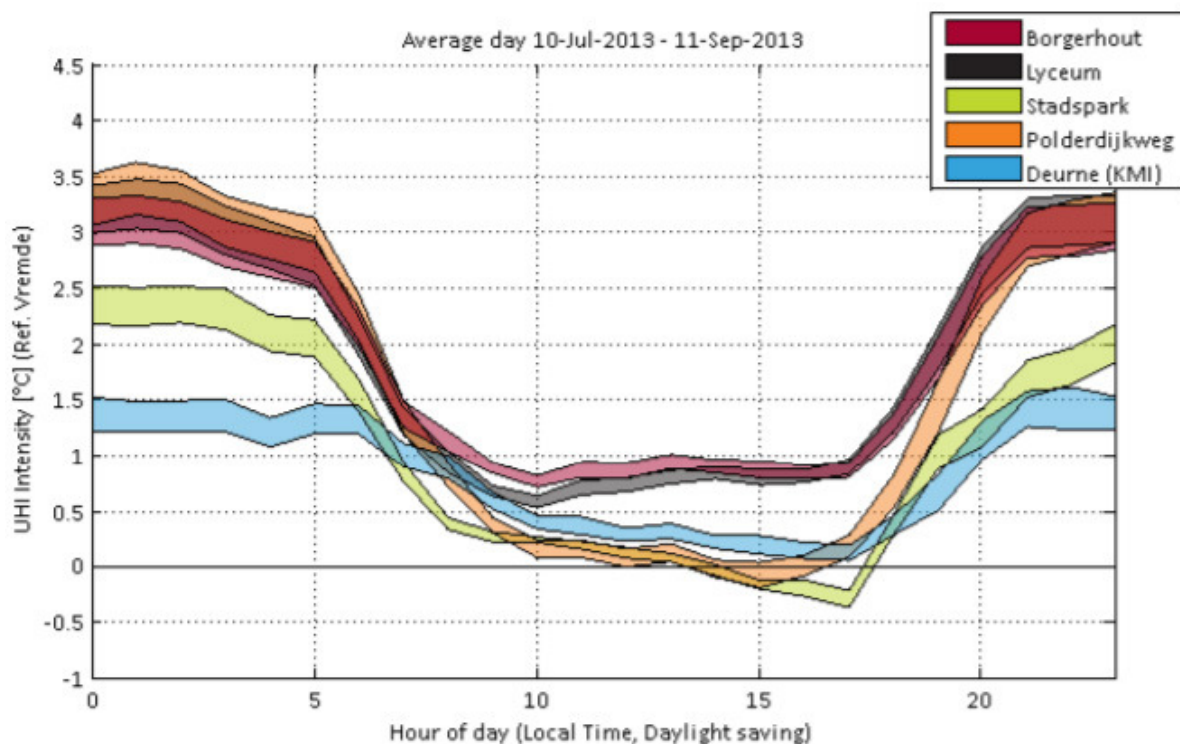
Een aantal oorzaken van de temperatuursverschillen liggen aan de basis: ten eerste worden de steden gekenmerkt door een groot aandeel beton, asfalt, natuursteen, ..., allemaal materialen met een hoge warmtecapaciteit. Deze materialen slaan gemakkelijk warmte op tijdens de dag en geven het terug af gedurende de nacht.

De tweede reden, naast de hoeveelheid verharde oppervlakte, is de relatief beperkte hoeveelheid vegetatie. Het water in stedelijke gebieden kan dus veel minder snel verdampen. De energie die normaal gezien instaat voor de verdamping van water komt vrij waardoor de temperatuur van de oppervlaktes en de lucht hierboven stijgt.

Ook de geometrie van de steden werkt dit effect in de hand. De dichtere bebouwing blokkeert gedeeltelijk de uitzending van thermische straling. De uitgezonden IR-straling blijft dus langer gevangen in de stadsdelen. De IR-straling wordt vervolgens nog eens tegengehouden door de verhoogde concentraties CO₂.

Ten slotte vormen de dichtbebouwde en eventueel nauwe straatjes een soort canyon waardoor de lucht minder geventileerd wordt.

In Antwerpen werden metingen uitgevoerd om het hitte-eiland effect in kaart te brengen. Vijf verschillende meetlocaties werden strategisch gekozen: bij bioboerderij van Leemputten – Vremde op een open weide op een afstand van 150 m van enige bebouwing, het Koninklijk Lyceum op het dak van een laag gebouw centraal op de speelplaats, in het stadspark op een tweetal meter van het water, in Borgerhout op een locatie waarbij de helft dicht bebouwd is en de Polderdijkweg dicht bij de Antwerpse haven. De metingen dateren van 2013.



Figuur 16: gemiddelde luchttemperatuursverschil van de stedelijke referenties t.o.v. Vremde [11]

Uit Figuur 16 kunnen enkele zaken worden afgeleid die de term hitte-eiland effect becijferen. Het temperatuurverschil overdag blijft relatief beperkt tot ongeveer 1°C. De meetstations in Borgerhout en het Lyceum (dichtbebouwde stadsdelen) meten het grootste verschil. De statistische onzekerheid, aangeduid door de breedte van een kleurband, neemt toe 's nachts.

Gedurende de nacht is er in de haven (Polderwijkweg) ook een hitte-eiland effect waar te nemen terwijl overdag de temperatuur in dezelfde lijn zit als Vremde. De sterke verharding in de haven heeft een dominante invloed op de luchttemperatuur.

Een belangrijk effect is zichtbaar in de groene band. Het stadspark, wat omschreven kan worden als stedelijk groen, vertoont lagere nachtelijke temperaturen dan de metingen in Borgerhout of aan het Lyceum.

Een kleine opmerking: Figuur 16 toont de resultaten van een gemiddelde dag gedurende de meetperiode. Er zijn ook enkele pieken waargenomen waarbij de stedelijke nachttemperatuur tot wel 8°C hoger lag dan de temperatuur van de boerderij in Vremde. Dergelijke pieken werden voornamelijk gemeten op avonden met een heldere hemel en bij lage windsnelheden.

Station	Latitude	Longitude	# dagen $T_{\min} > 18^{\circ}\text{C}$	# dagen $T_{\min} > 20^{\circ}\text{C}$
Borgerhout	51.209425	4.431667	15	6
Lyceum	51.208525	4.410228	13	6
Polderdijkweg	51.264283	4.341258	17	6
Stadspark	51.211644	4.412361	9	2
Deurne	51.192222	4.453056	6	0
Luchtbal	51.261079	4.424342	10	1
Zwijndrecht	51.244460	4.334747	14	6
Vremde	51.166008	4.548647	2	0

Tabel 3: aantal nachten waar de temperatuur niet onder de 18°C of 20°C zakte [11]

Bij nader onderzoek van de nachtelijke temperaturen wordt het hitte-eiland effect van stedelijke gebieden nog opvallender. In Tabel 3 zijn het aantal dagen weergegeven waarbij de nachtelijke temperatuur niet onder de 18°C en 20°C zakten. De beschouwde periode was in juli en augustus van 2013; het gaat om 63 dagen.

In het stadspark en in Deurne (KMI)¹ zijn er opvallend minder nachten waarbij de temperatuur niet onder de 18°C zakte. Het verschil met de dichtbebouwde gebieden is redelijk groot: tot wel dubbel zoveel warme nachten. In Borgerhout was 23,8% van de nachten warmer dan 18°C gedurende de zomer van 2013.

Het verschil in Vremde is nog signifikanter. Amper twee nachten (3,1% van de nachten) waarbij de temperatuur niet lager was dan 18°C, zelf geen enkele dag onder de 20°C.

Het hitte-eiland effect van stedelijke gebieden is duidelijk in kaart gebracht. De oorzaken van dit verschijnsel werden al in het begin van dit hoofdstuk aangehaald. Een belangrijke factor is de fractie verharding en stedelijk groen. Het toevoegen van plaatselijke groene publieke ruimtes kan een invloed hebben op de nachtelijke temperaturen. In het vorige hoofdstuk "Groendaken" werden al esthetische en comfortredenen aangehaald om te opteren voor meer groen in de stad. Deze studie in verband met hitte-eilanden vergroot het aantal argumenten.

¹ De metingen in Deurne werden toegevoegd in deze tabel. Het KMI voert via weerstations hier dagelijks metingen uit.

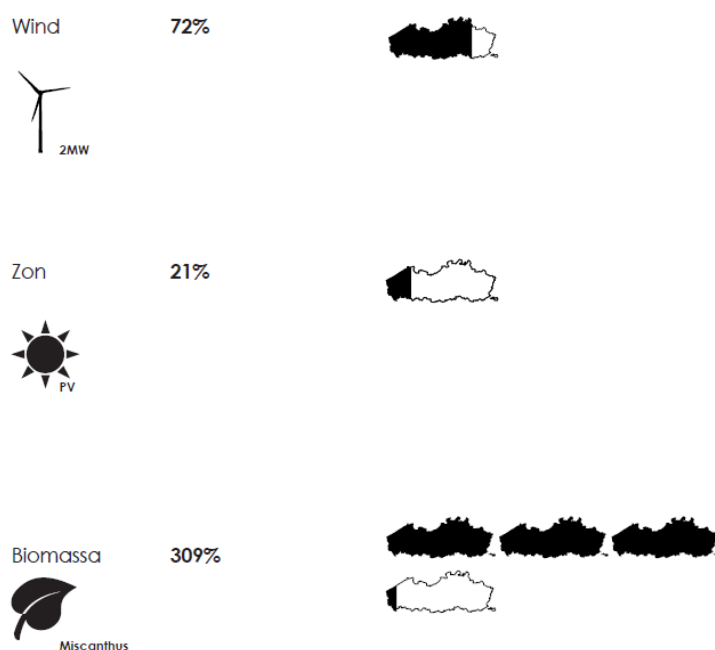
Rapport Energielandschappen Vlaamse Bouwmeester

LABO RUIMTE, een samenwerking tussen het Team Vlaams Bouwmeester en Ruimte Vlaanderen, voert ontwerpend onderzoek uit naar een aantal beleidsthema's met een ruimtelijke impact. Het team wordt regelmatig aangevuld met experts, administraties en actoren uit het veld van het uitgekozen thema. Het resultaat is een invraagstelling van de opgave eerder dan afgewerkte plannen of beleidskeuzes. Eén van de publicaties is Energielandschap Vlaanderen (2015). [12] Hieronder volgt een korte samenvatting.

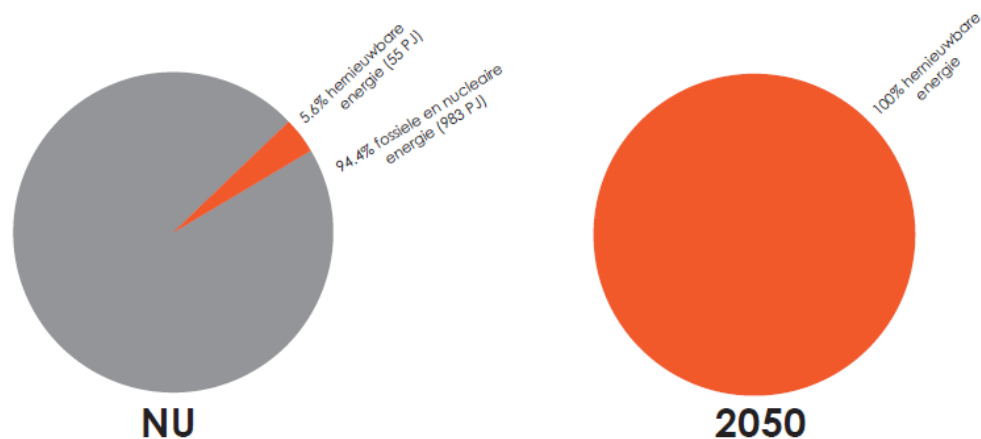
Vlaanderen staat voor een helse opdracht: de uitstoot van broeikasgassen met 80 à 95 % verlagen. Zowel een reductie van de vraag naar energie als een energietransitie van de aanbodzijde zijn hiervoor nodig. De ruimtelijke impact van de omschakeling en de opportuniteiten vormen de basis voor het onderzoek.

De studie Energielandschap Vlaanderen (2015) omarmt twee ruimtelijke benaderingen van het begrip energielandschap. Eerst keek LABO RUIMTE naar het begrip als een op zich staande entiteit die een deel van de ruimte claimt. De tweede benadering zoomt in op welke manier energiesystemen worden geïntegreerd en verweven worden in een bestaande context. De laatste manier is een uitdaging gezien de beperkte beschikbaarheid van ruimte. Uit een snelle kwantitatieve analyse blijkt dat een 100% hernieuwbare opwekking een enorm ruimtelijk beslag op Vlaanderen zou leggen. Er is dus concreet onderzoek nodig naar het reduceren van de vraag en een oplossing vinden om het aanbod van energie te kunnen verhogen.

De nood aan de energietransitie wordt duidelijk gemaakt aan de hand van verschillende figuren. Figuur 17 toont welke percentage van Vlaanderen nodig zou zijn om de volledige energiebehoefte te dekken door middel van hernieuwbare bronnen, meer bepaald wind-, zonne-energie en biomassa. Uit Figuur 18 blijkt bovendien dat het aandeel hernieuwbare energie in 2012 amper 6 % bedroeg van de totale energievraag.



Figuur 17: oppervlakte nodig om de totale energievraag Vlaanderen hernieuwbaar op te wekken [12]

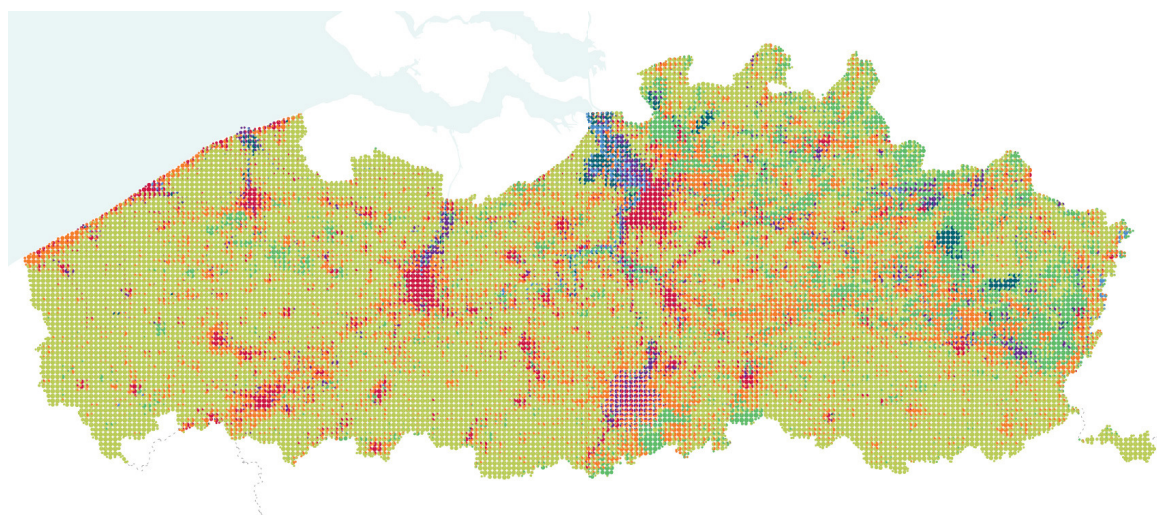


Figuur 18: aandeel hernieuwbare energie nu – 2050 (gewenst) [12]

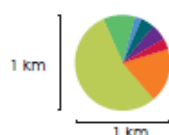
Het Vlaamse landschap is niet eenzijdig. Dat valt op wanneer verschillende kaarten boven elkaar worden gelegd: bodem-, reliëf-, topografische kaarten, ... Om een duidelijk beeld te krijgen van het Vlaamse landschap heeft LABO RUIMTE een syntheseskaart ontwikkeld. [Figuur 19] Verschillende themalagen werden gecombineerd in één kaart zodat Vlaanderen werd vereenvoudigd naar een landschapstypologie met zeven hoofdtypes. Deze kaart toont welke typologie primeert in een gebied. De verschillende types zijn opgesomd in Figuur 19.

Deze kaart kan vervolgens ingezet worden om te achterhalen op welke plaats men best hernieuwbare energiebronnen kan inzetten. Om een voorbeeld te geven: windenergie heeft bijzonder veel potentie, maar is erg locatieafhankelijk.

Om deze kaart duidelijk te interpreteren is het Vlaamse landschap omgezet in een matrixvorm: een grid van cellen van 1 bij 1 km werd over de kaart gelegd. Per cel werd het oppervlakte-aandeel van de voorkomende typologieën berekend en voorgesteld aan de hand van een taartdiagram.



Figuur 19: syntheseskaart van de landschapstypes in Vlaanderen [12]



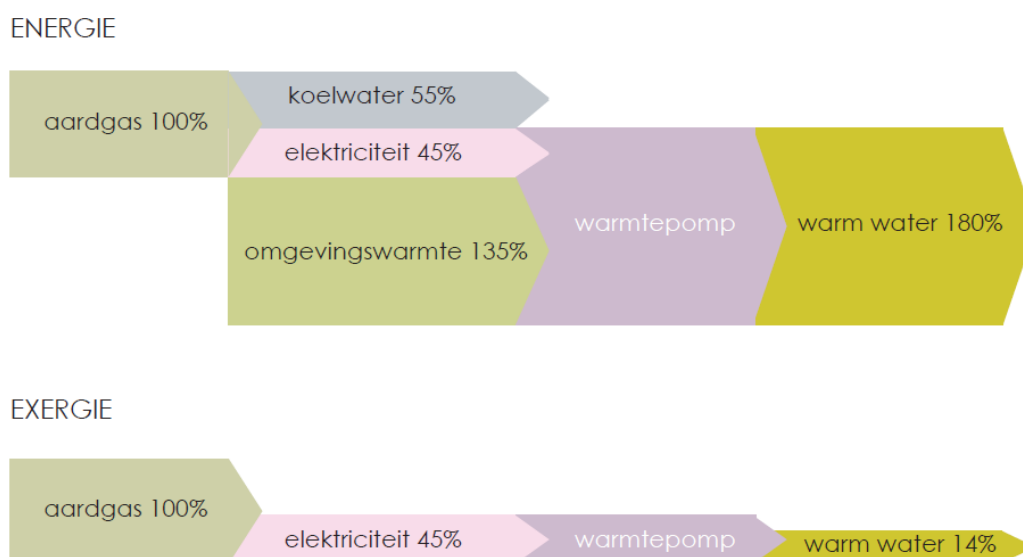
- Gesloten urbaan landschap
- Open urbaan landschap
- Industrielandchap
- Landbouwlanschap
- Boslandschap
- Waterlandschap
- Natuurlijke vegetatie

Figuur 20: taartdiagram van één km² [12]

Een klein maar belangrijk zijspoor in het verslag is de benadering van energie en exergie¹. We gebruiken constant energie en verbruiken exergie. De eerste en tweede hoofdwet van de thermodynamica stellen dat er nooit energie verloren gaat of bijgemaakt wordt in een bepaald proces (eerste wet). Bij de overgang van een vorm van energie naar een andere vorm treedt er een kwaliteitsverlies op (tweede wet). Dat verlies wordt benoemd als entropie: een maat voor wanorde. De toename aan wanorde is wat verloren gaat aan exergie (nuttige energie). De kwaliteit daalt.

Via een proces kan het energetische en exergetische verhaal duidelijk gemaakt worden. De energetische kant van het proces om warm water te produceren kent een hoog rendement van ongeveer 180%. Meer bepaald, de energie die men in het proces heeft gestoken om warm water te creëren heeft een rendement van 180%. De exergetische kant toont een andere waarde. Het rendement bedraagt slechts 14%, dus er is 86% aan arbeidspotentieel verloren gegaan in dit proces, terwijl de behoefte 14% bedroeg. [Figuur 21] Er is dus bijna zes keer zoveel exergie verloren gegaan als er effectief nodig was voor dit proces.

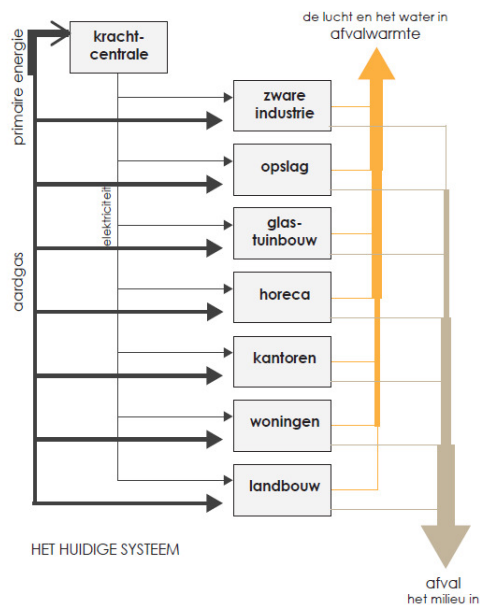
Aan de energetische kant is er 80% energie bij gemaakt. Het is dus van groot belang om een juiste energiebron te zoeken voor de juiste exergie-inhoud. Voor deze toepassing zou de 180% energie-inhoud beter voor een andere toepassing ingezet worden.



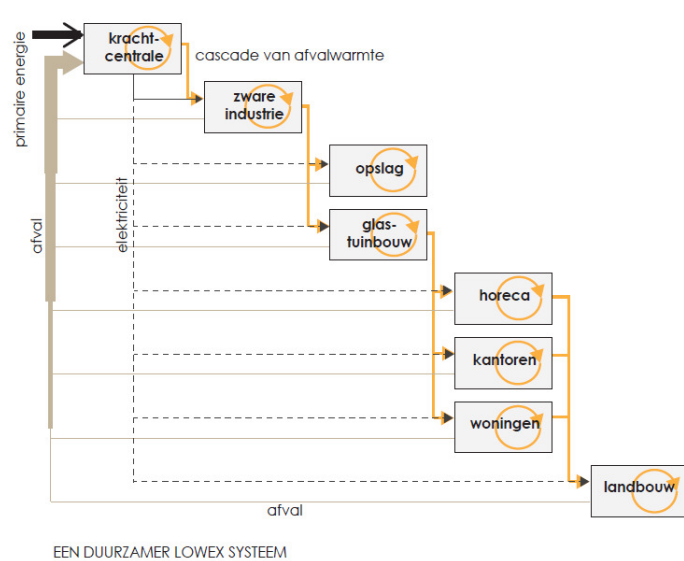
Figuur 21: energie – exergie [12]

Aan de hand van Figuur 22 en Figuur 23 wordt zichtbaar dat de exergetische benadering efficiëntere systemen kan opleveren. De output aan energie van een functie met een hoogwaardig energieprofiel kan gebruikt worden als input voor een functie met een lager energieprofiel. Omdat vaak een grote hoeveelheid exergie verloren gaat, worden de exergieverliezen best tot een minimum beperkt via de toepassing van hernieuwbare bronnen of het gebruik van residuele energiestromen. Dit laatste wordt toegepast in Figuur 23 zodat de ruimtelijke gevolgen beperkt worden.

¹ exergie is de arbeid die een systeem kan leveren indien het in evenwicht gebracht wordt met de omgeving via een reversibel proces. Met andere woorden de fractie energie die we nuttig kunnen gebruiken. [13]



Figuur 22: veel hoogwaardige energie in, maar veel afvalwarmte uit [12]



Figuur 23: hoogwaardige energie voor de behoeftigde functies en reststromen voor laagwaardige functies [12]

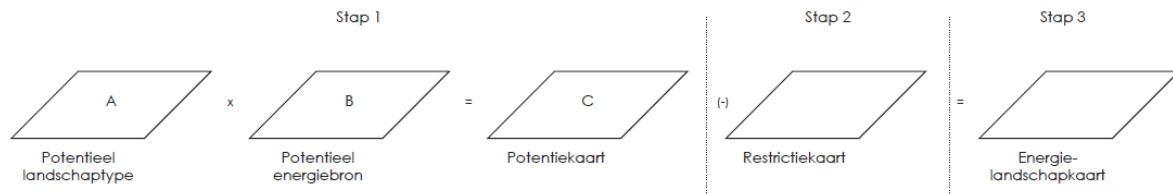
Om effectief tot een energielandschapskaart te komen werden de landschapstypes geëvalueerd naar hun energiepotentie. Voor elke vierkante kilometer werd berekend hoeveel het energiepotentieel per hernieuwbare energiebron bedraagt afhankelijk van het type landschap dat er voorkomt. [Figuur 20]

Er zijn vier types hernieuwbare energiebronnen voorop gesteld:

- zonne-energie
- windenergie
- biomassa
- geothermie

De methodologie om tot een energielandschapskaart te komen bevat een aantal stappen: [Figuur 24]

- Stap 1A: het potentieel van het landschapstype voor een energiebron. Aan de hand van de theoretisch maximale waarde voor een bepaalde energiebron wordt onderzocht in welk type landschap deze bron geschikt is of niet toepasbaar is.
- Stap 1B: het potentieel van de energiebron. Deze kaart toont in welke mate de energiebron ideaal is voor elk deel in Vlaanderen. 1 wordt gezien als theoretisch maximum.
- Stap 1C: de potentiekaart. Deze kaart legt 1A en 1B samen. Op die manier wordt de maximale potentie bepaald van de hernieuwbare energiebron aan de hand van de aanwezige landschapstypes in een welbepaalde cel van één vierkante kilometer. [Figuur 20]
- Stap 2: de restrictiekaart is gebaseerd op wettelijke beperkingen en onmogelijke plaatsen (zwarte gebieden). Windturbines mogen bijvoorbeeld niet in natuurreservaten staan en geothermie niet in gebieden waar er aan oppervlaktewaterwinning wordt gedaan.
- Stap 3: de uiteindelijke energielandschapskaart vormt de potentiekaart verminderd met de restrictiekaart.



Figuur 24: methodologie energielandschapskaarten [12]

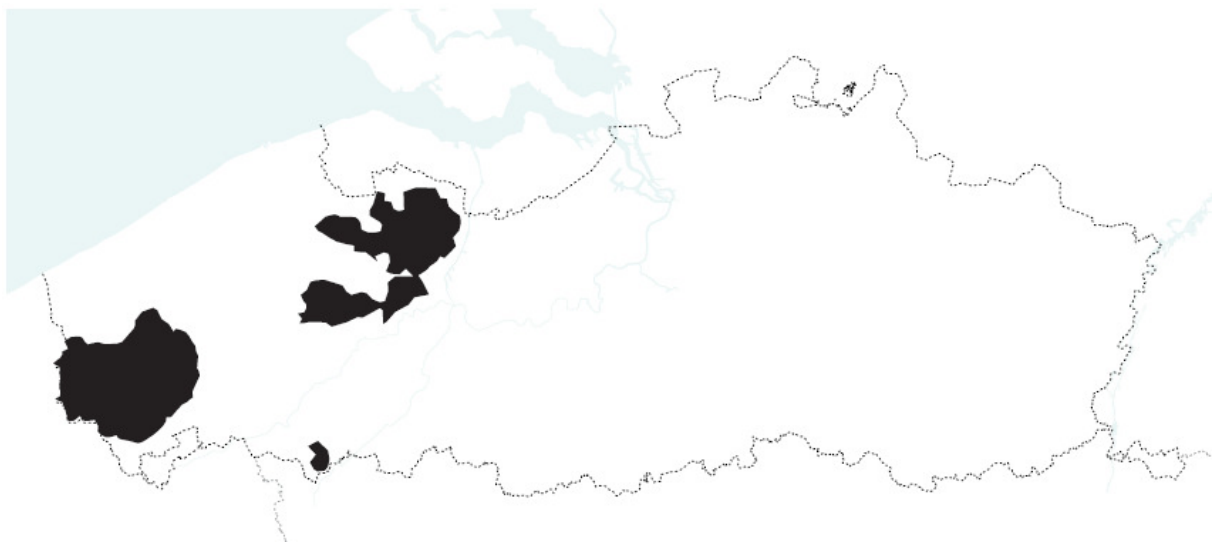
Het rapport bevat dus een kaart die de potentie van verschillende hernieuwbare energiebronnen toont van elke locatie in Vlaanderen.

Ten slotte wordt er nog dieper ingegaan op die hernieuwbare bronnen en de toepassingen ervan. Aan de hand van infofiches worden de eigenschappen, de voor- en nadelen en de cijfergegevens aangehaald. Hernieuwbare energie wordt bevattelijker. Die duidelijke gegevens kunnen via die infofiches gemakkelijk ingezet worden in de praktijk.

De volgende infofiches zijn opgenomen in het rapport:

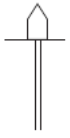
- windenergie
- zonne-energie
- biomassa
- geothermie
- waterkracht
- energienetwerken
- warmtenetten
- opslag en buffering
-

De infofiche over warmtenet licht ik toe en geldt als rode draad voor de andere.

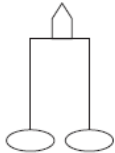


Figuur 25: kaart met oppervlaktewaterwingebieden voor de productie van drinkwater [12]

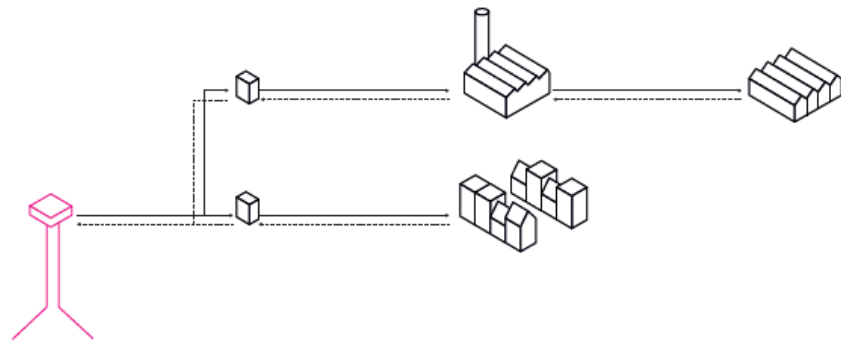
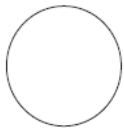
Warmte pomp



Koude warmte opslag



Warmte uit mijngangen



Figuur 27: systeem van een warmtenet [12]

Figuur 26: geothermische technologieën [12]

Vlaanderen legt enkele restricties op voor de toepassing van geothermie. Deze toepassing gaat gepaard met diepe boringen waardoor het drinkwater vervuild kan geraken. Figuur 25 toont de plaatsen waar er drinkwater wordt gewonnen en waar dus geen geothermische toepassingen mogen worden toegepast.

Een aantal geothermische toepassingen die al in Vlaanderen zijn uitgevoerd, worden verduidelijkt aan de hand van een schematische weergave. [Figuur 26] De focus lag in deze studie op hydrothermische toepassingen.

Verder kan een warmtepomp of een KWO worden toegepast in een warmtenet. Het geothermische bronsysteem wordt gebruikt om thermische energie in op te slaan. Via een warmtenet kan deze warmte worden opgepompt en verspreid worden naar verschillende (eind)gebruikers. Op die manier kan aan seizoensopslag worden gedaan. Zo wordt een overschot aan warmte in de aarde gestoken en in de winter terug opgepompt en verdeeld.

Deze korte schema's geven een beter inzicht in de materie van warmtenetten waardoor de toepassing duidelijker en bevattelijker wordt.

IABR: The Missing Link

Het klimaatvraagstuk krijgt internationale aandacht, zo ook in Nederland. In 2018 is een tweeledige architectuurbiënnale van start gegaan: de IABR. De Internationale Architectuur Biënnale Rotterdam opende het eerste deel bijna twee jaren geleden onder de naam IABR – 2018+2020 – The Missing Link. Rotterdam en Brussel vormden de centrumsteden van de tentoonstelling.

De werkbiënnale behandelt het thema *The Missing Link* [14] aan de hand van een vijfvoudig stappenplan. Daarvoor worden verschillende hoofdvragen naar voren geschoven:

- Hoe kunnen ontwerpers reageren op de door de mens gecreëerde klimaatsverandering?
- Wat houdt ons nog tegen om wél te reageren? Wat is The Missing Link?
- Hoe geven we de verandering vorm zodat deze aantrekkelijk wordt en gemakkelijk op gang komt?
- Hoe geven we de toekomst vorm in termen van maatschappelijke winst?
- En welke rol vervullen de ontwerpers in het traject?

De tentoonstelling gaat dus op zoek naar de ontbrekende schakel om de noodzakelijk omschakeling ook effectief mogelijk te maken. Die zoektocht is een work in progress, om aan te tonen wat er de komende jaren op ons afkomt. De uitgangspunten en onderzoeksvragen met de bijhorende resultaten worden getoond tijdens de volgende editie in 2020.

De vijf opeenvolgende stappen worden getoond in vijf kamers:

1. Standpunten: de curatoren nemen het woord en presenteren het thema The Missing Link. Onder andere curator en Vlaams Bouwmeester Leo Van Broeck vat het goed samen: "... Onszelf heruitvinden op zodanige manier dat we een soort worden die haar behoeften en aspiraties kan realiseren ten goede van het planetaire systeem. Die geen kwaliteit consumeert, maar produceert." [14]
2. In de Wunderkammer wordt scenografisch getoond dat we als mens niet terug in de tijd kunnen gaan. We moeten de moderne middelen inzetten om een duurzame richting uit te gaan.
3. Zaal 3: de wending. Een verbeelding van de wending die de curatoren voor ogen staat. De mensheid is verantwoordelijk voor de klimaatverandering en de claim op het ruimtegebruik. De mens kan dus ook ingrijpen, maar daarvoor is een fundamenteel andere houding voor nodig.
4. In zaal 4 en 5 komen de ateliers. Een gevarieerde groep mensen vanuit verschillende onderzoeksvelden komen samen en proberen een nieuwe praktijk te ontwikkelen aan de hand van vooropgestelde onderzoekslijnen: het hernieuwbaar energielandschap, de (re)productieve stad, een zorgzame leefomgeving, een gezonde landbouw, een nieuw mobiliteitssysteem en ruimte voor biodiversiteit en water.

Het tweede deel gaat dit jaar van start met als titel IABR – 2020 – Down to Earth. [15] The Missing Link die in 2018 vorm kreeg wordt vanaf het najaar concreet aangepakt om stedelijke landschappen aan te passen aan de nieuwe noden. De twee vooropgestelde uitdagingen situeren zich op vlak van watergebruik en energie. Enkele hoofdvragen vormen de basis: hoe kunnen ontwerpers wateropgaven aanpakken zo dat ze ook werken aan veerkrachtige steden? Hoe kunnen water- en energietransitiemaatregelen ingezet worden om de Sustainable Development Goals te realiseren¹?

1

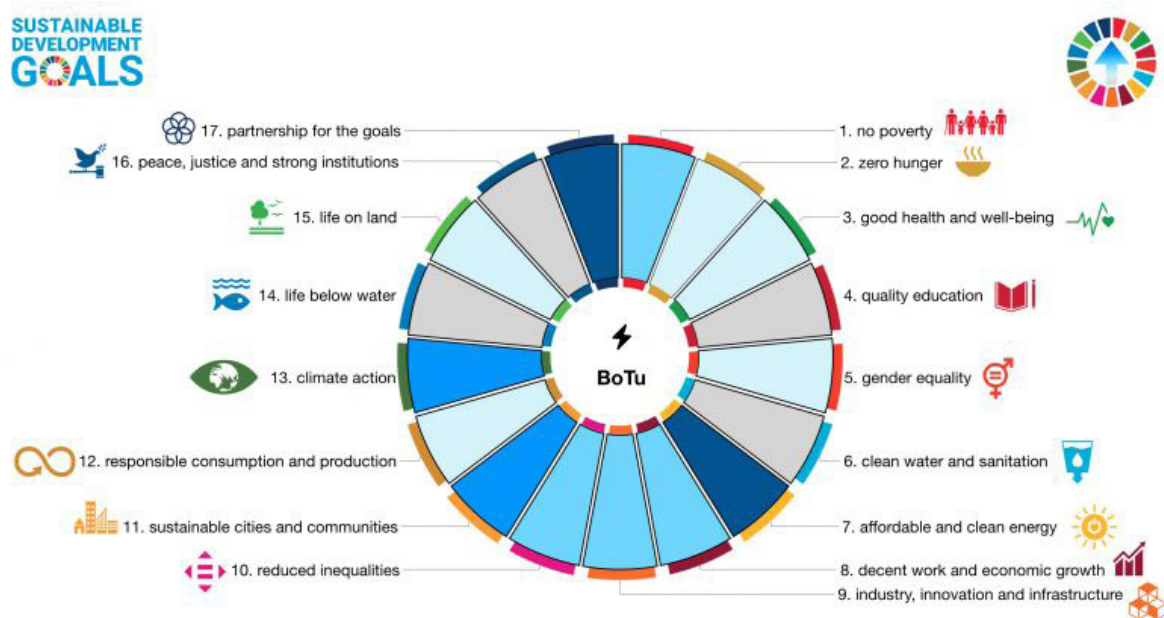
De IABR wil een bijdrage leveren aan de Sustainable Development Goals van de Verenigde Naties.

De eerste uitdaging draait rond de watertransitie (water as leverage). Gevoed door een duidelijk cijfer¹ wordt de wateropgave ingezet als hefboom om verandering teweeg te brengen op ieder schaalniveau. Overstromingen, droogtes, vervuiling, waterconflicten in combinatie met verstedelijking en de stijgende vraag naar voedsel creëert een steeds nijpender probleem. Maar aan dat probleem is er ook een uitdaging verbonden: een hefboom die effectieve transformatie kan veroorzaken overal en op alle schaalniveaus.

De tweede uitdaging bevindt zich op vlak van energietransitie (energy as leverage). Energietransitie geldt als doel, maar ook als middel. In België streven we naar een CO₂-neutrale leefomgeving via energietransitie. De energieomschakeling kan ook worden ingezet om een duurzame samenleving op te richten.

Om de energietransitie mogelijk te maken moeten we anders gaan nadenken. Duurzame normen staan voorop en we geven de samenleving vorm met een plaats voor de natuur en de samenleving. Om terug te komen op de woorden van Leo Van Broeck: we gaan op zoek naar energiesystemen niet ten koste, maar ten goede van onze leefgemeenschap. Concreet zoekt de IABR een balans naar onze leefomgeving en de natuur: DOWN TO EARTH.

Het is duidelijk dat de waarom-vraag niet opnieuw behandeld moet worden. Klimaatveranderingen houden ons al een tijdje bezig. De wat-vraag is ook redelijk concreet: een duurzame omschakeling van energie, circulaire materialen, slimme mobiliteit en meer plantaardig voedsel. Enkel de hoe-vraag is nog een raadsel. Hier probeert de IABR een antwoord op te zoeken. De werkplaats voor energietransitie gaat op zoek naar een integrale benadering voor het realiseren van de Sustainable Development Goals van de VN [16] aan de hand van lokaal energie-eigenaarschap en het bouwen aan een nieuwe commons². [Figuur 28] De uiteindelijke resultaten zullen getoond worden aan het einde van de tweedelige biënnale.



Figuur 28: energietransitie – sustainable development goals [15]

1 80 % van alle door het klimaat veroorzaakte noodsituaties zijn water gerelateerd. [15]

2 Hernieuwbare bronnen worden gezien als common of gemeengoed. Ze moeten voor iedereen toegankelijk zijn. [17]

Referentieprojecten

Vooraleer in te zoomen op de mogelijke renovatiestrategieën van de casestudy worden acht referentieprojecten voorgesteld die een interessante blik werpen op energietransitie. Elke referentie is onderhevig aan omgevingsfactoren, wetgevende kaders, sociale en economische aspecten, etc. waardoor elk project op een unieke manier duurzame energieopwekking mogelijk maakt.

Een handvol steden, wijken, coöperaties of nieuwbouwprojecten in binnen- en buitenland zagen opportuniteiten. In dit hoofdstuk wordt toegelicht hoe de fysieke implementatie tot stand is gekomen.

Overzicht

Dit overzicht schetst kort waar elk project is gelegen en welke duurzame toepassing is uitgevoerd. Op de volgende kaart staan de uiteenlopende projecten bij elkaar. [Figuur 29] Eén project bevindt zich in Duitsland, één in Oostenrijk en ten slotte vijf projecten in België:

In Duitsland:

- Green City, Freiburg im Breisgau: energieneutrale woningen vormen de basis van het project. Aan de hand van warmtekrachtkoppeling, thermische zonnepanelen en photovoltaïsche systemen wil Freiburg tegen 2050 volledig hernieuwbaar worden. Een lokaal warmtenet voorziet verwarming en sanitair warm water aan de energieneutrale woningen.

In Oostenrijk:

- Spittelau, Wenen: één van Europa's grootste green district heating plants. Een lokaal warmtenet voorziet bijna één derde van de stad van verwarming. Het net wordt gevoed door restwarmte van warmtekrachtkoppeling, de industrie en verschillende afvalcentrales.

In België:

- MIROM, Roeselare: een ondergronds thermisch netwerk gevoed door de afvalverbrandingscentrale MIROM. Het netwerk wordt gekoppeld aan zowel nieuwe als bestaande stedelijke weefsels.
- ZuidtrAnt, Antwerpen: een burgercoöperatie die lokale initiatieven steunt. Geïnteresseerden kunnen aandeelhouder worden en investeren in groene energie indien ze zelf geen plaats hebben.
- Nieuw Zuid, Antwerpen: 39 bouwblokken gekoppeld aan een ondergronds warmtenet en een warmtecentrale. Via een meerjarenplan wordt een volledig nieuw stadsdeel aan het net gekoppeld.
- Nieuwe Dokken, Gent: toepassing van een lokaal warmtenet gevoed door een industriële fabriek en geconnecteerd aan een decentrale waterzuiveringsinstallatie. ZAWENT is speciaal ontwikkeld voor deze nieuwbouwwijk.
- Buurzame Stroom, Gent: een initiatief waarbij diverse partners zoveel mogelijk mensen probeerden te overtuigen om zonnepanelen te leggen in zone Dampoort (Gent).
- Godshuizen 'De Schipjes': een proeftuin waar energetische renovatie en architecturale kwaliteiten hand in hand gaan.



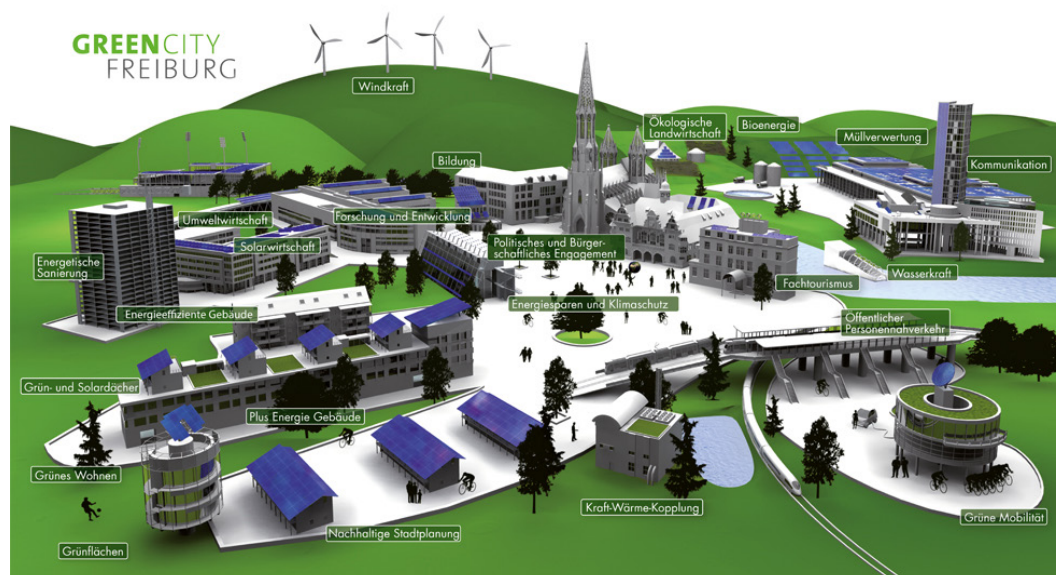
Figuur 29: kaart met referentieprojecten

Freiburg im Breisgau, Green City

Het eerste project bevindt zich in het zuidwesten van Duitsland. Het project startte redelijk vroeg in vergelijking met de andere referenties. De inwoners van Freiburg streven als sinds de jaren 70 voor het gebruik van hernieuwbare energie. De anti-kernenergiebeweging kwam bijna een halve eeuw geleden voor het eerst op straat om te protesteren tegen het gebruik van kernenergie en fossiele brandstoffen. Een nieuwe wind die ook doorheen Freiburg waaide. Aan de hand van strikte doelstellingen, die strenger waren dan de overheidsmaatregelen, wilde het stadje iedereen wakker schudden. Uiteindelijk, in 2003, na veel lobbywerk, vormden de inwoners een duidelijke klimaatvisie die de basis werd voor het *Land Use 2020 plan*.

De focus werd uiteindelijk een driedelige visierapport: energiebesparende maatregelen, het efficiënt toepassen van technologie en inzetten van hernieuwbare energiebronnen. Het stedelijk beleid zet in op korte en lange termijn doelstellingen die verder gaan dan de huidige nationale en Europese energienormen. [18]

De uiteindelijke doelstelling is het creëren van een klimaatneutrale stad met het gebruik van 100 % hernieuwbare energie tegen 2050. Om die doelstelling te behalen wordt een evaluatiefase ingelast: 50% minder CO₂-uitstoot tegen 2030. Het project is dus in volle ontwikkeling.



Figuur 30: schematische weergave Freiburg, Green City



Figuur 31: energieneutrale cluster van gebouwen in Vauban, Freiburg [19]

Het klimaatakkoord van Parijs heeft een belangrijke doelstelling voor ogen: energieneutraliteit tegen 2050. Slechts drie landen hebben dit akkoord als wet opgenomen: Zweden, Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk. Freiburg als stad wil even vooruitstrevend zijn en het ziet er naar uit dat de stad (met overschot) de deadline zal halen. [20]

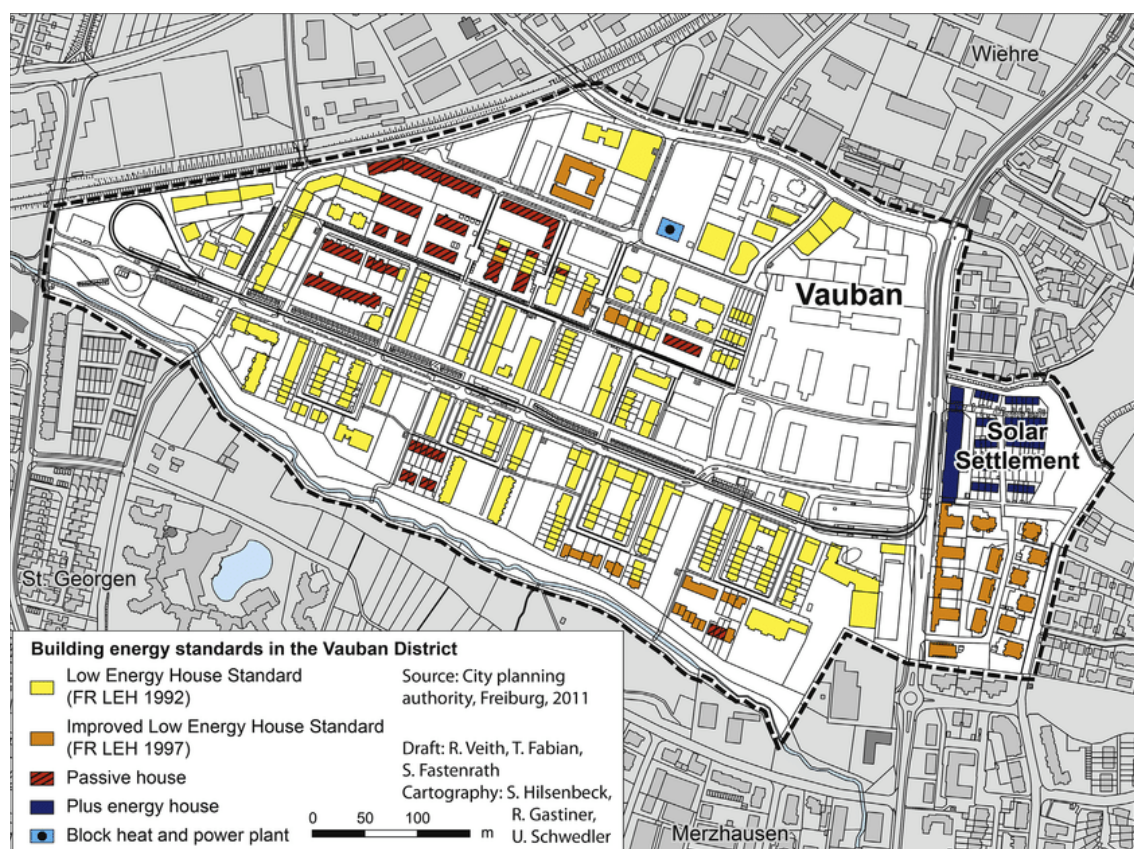
Energieneutrale woningen vormen de basis van het project. Aan de hand van warmtekrachtkoppeling, thermische zonnepanelen en photovoltaïsche systemen wil Freiburg tegen 2050 volledig hernieuwbaar worden. Zowel de opwekking van warmte als elektriciteit moet 100 % hernieuwbaar gebeuren. [21]

Een lokaal warmtenet, gevoed door warmtekrachtkoppeling met biomassa als primaire hernieuwbare brandstof, voorziet in verwarming en sanitair warm water. Thermische zonnepanelen vullen in mindere mate het thermisch net aan.

Het gedecentraliseerde energiesysteem wordt duidelijk in Vauban, een wijk in Freiburg. [Figuur 32] Elke woning in de wijk is (bijna-)energie neutraal en heeft photovoltaïsche zonnepanelen op het dak. Ruim 3.150 m² dak is bedekt met geïntegreerde PV-generatoren. Iedere rijwoning is aangesloten op het lokale warmtenet en kan dus genieten van duurzame warmte.

Een goede balans tussen individuele aanpassingen en collectieve systemen creëert een cluster van *net energy buildings*¹. [22]

Nog een extra opmerking: Freiburg heeft ongeveer 485 km aan fietspaden aangelegd om het gebruik van de fiets te stimuleren. Ongeveer één vierde van de lokale bevolking gebruikt momenteel de fiets als primair verplaatsingsmiddel. Een streefdoel waar we in België alleen maar jaloers op kunnen zijn. [23]



Figuur 32: net zero energy building cluster, Vauban [22]

¹ Een cluster van gebouwen die evenveel energie produceert als consumeert over een bepaalde periode, meestal een jaar [24].

Spittlau, Wenen

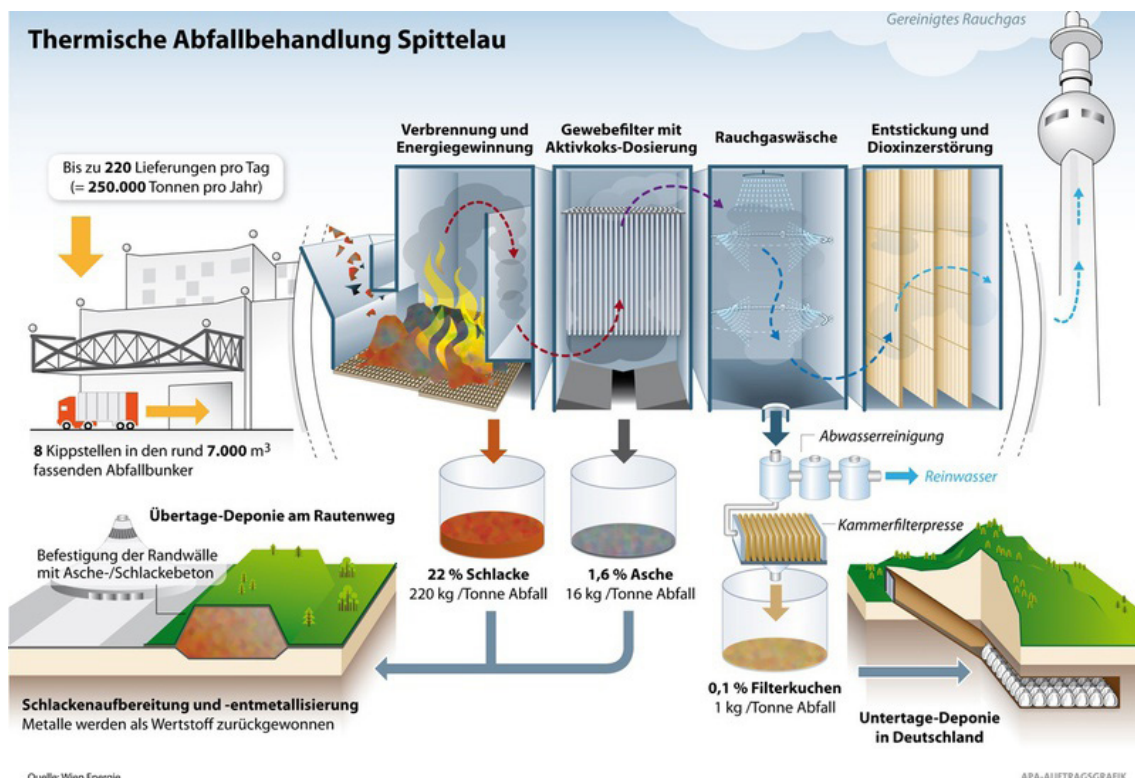
Eén van de grootste *green district heating plants* van Europa bevindt zich in Wenen. Ongeveer twee derde van de nodige warmte voor het net komt van wkk en de industriële sector. De resterende één derde is afkomstig van afvalverbrandingscentrales waaronder Spittelau en biogascentrales. Indien er warmtevraagpieken opduiken, wordt een stadsverwarmingsinstallatie aangesproken: een boiler, gevoed met natuurlijke gassen, die de extra warmtevraag kan dekken. [25] [26]

Het 1 200 km lange netwerk vervoert water aan een hoge temperatuur van 160°C tot de substations. Vanuit de substations vertrekt het naar de eindgebruikers. De uiteindelijke uitstoot van broeikasgassen in Wenen wordt beperkt met 1,5 miljoen ton per jaar. [27]

Verder zet Wenen ook in op andere duurzame energieopwekking. De belangrijkste twee hernieuwbare oplossingen, naast het warmtenet, zijn de volgende:

- sinds 2012 bouwt Wien Energie aan een veld vol zonnepanelen. Inwoners konden dan een deel van de velden kopen en op die manier kiezen voor 100 % duurzame energie. De verkoop ging als een trein en ondertussen zijn er 26 operationele velden. [28]
- het gebruik van biomassa is gestart in 2003 en voorziet verschillende gemeentes van gedecentraliseerde en ecologische energie.

Hoe wordt Spittelau ingezet om het warmtenet te voeden? [Figuur 33] De hete gassen passeren eerst langs een warmtewisselaar waardoor er stoom wordt gecreëerd. Die stoom wordt in een volgende fase omgezet in zowel warmte als elektriciteit. De warmte wordt doorheen het net naar de eindgebruikers gestuurd. Door de afkoeling van de gassen kunnen de rookgassen ook gezuiverd worden vooraleer ze door de 126 m lange schoorsteen naar buiten worden gelaten. [27]



Figuur 33: schematische weergave van de verbrandingscentrale [27]

Spittelau [Figuur 34] is een Weens landmark. Het opvallende ontwerp van Friedensreich Hundertwasser is een trekpleister in de stad. [29]



Figuur 34: Spittelau Landmark [30]

MIROM, Roeselare

Dichter bij huis, met eenzelfde principe als Wenen, bevindt zich het warmtenet van Roeselare. De stad gebruikt sinds 1986, als één van de eerste in België, de restwarmte van de verbrandingsoven van MIROM als katalysator voor het lokale warmtenet. Afvalintercommunale MIROM, Fluvius en de private sector bieden een brede diversiteit aan warmtenetten doorheen de stad. [31]

Het netwerk bestaat al 30 jaar, maar komt steeds vaker op de voorgrond gezien de klimaatdoelstellingen. In de jaren 90 en begin 2000 werden vele kleine initiatieven, vooral kleinere warmtenetten, opgedoekt wegens de lage energieprijzen. De rendabiliteit daalde waardoor ze economisch niet meer interessant waren. Het MIROM-netwerk bleef omwille van zijn omvang bestaan.

Het warmtenet wordt gevoed door restwarmte van de verbranding van afval van 15 West-Vlaamse gemeentes. Ieder jaar wordt 65 000 ton restafval omgezet tot een duurzame vorm van energie. De verbranding van afval gebeurt aan een temperatuur van 1 000°C. De residuele warmte wordt via een warmtewisselaar gebruikt om een ondergronds netwerk op te warmen. [Figuur 35] Om de vergelijking te maken: het verbranden van 4 kg afval creëert evenveel warmte als 1 kg stookolie. Tot op heden is er nog voldoende restwarmte aanwezig om het net verder uit te breiden. [32]

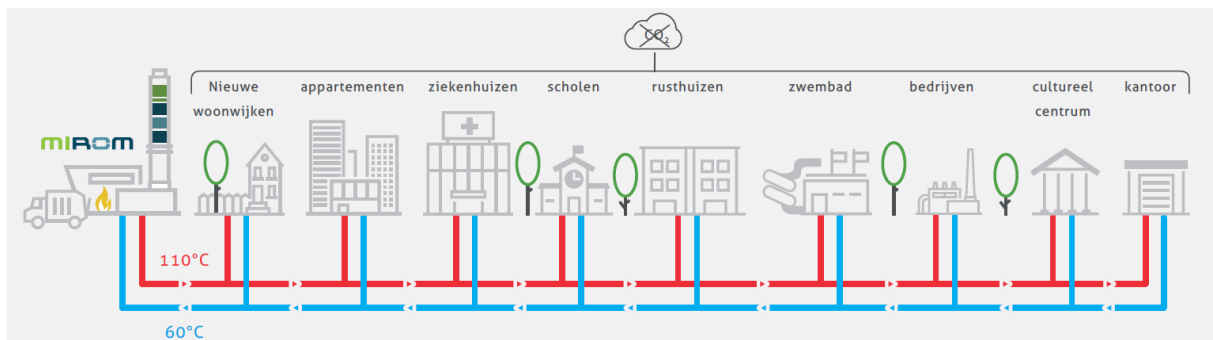
Het verbrande afval in de ovens creëert rook met een temperatuur van ongeveer 850 °C. In een ketelinstallatie [3 + 3a, Figuur 36] worden de gassen afgekoeld tot 260 °C. De warmte die vrijkomt wordt omgezet in warm water van 180 °C dat vervolgens nog eens tot 110 °C wordt afgekoeld. Dit water stroomt door een stalen netwerk doorheen de stad. Om het systeem in balans te houden, wordt het water onder hoge druk geplaatst zodat de vloeistof niet kan koken of stomen.

In de zomermaanden is de vraag naar warmte redelijk laag, waardoor er beter elektriciteit kan opgewekt worden. Via een ORC-installatie in dezelfde centrale wordt groene elektriciteit opgewekt. [3c, Figuur 36] Dit circuit gebruikt het warme water (180 °C) om een speciale vloeistof om te zetten in een gas onder hoge druk. Deze vloeistof heeft dezelfde eigenschappen als hete stoom en kan een turbine en vervolgens een alternator aandrijven die de elektriciteit produceert. Een deel van de elektriciteit wordt rechtstreeks ingezet in de afvalverbandingscentrale. Na de passage aan de turbine passeert het gas een condensator waardoor het terug tot een vloeistof wordt omgezet en opnieuw kan gebruikt worden.

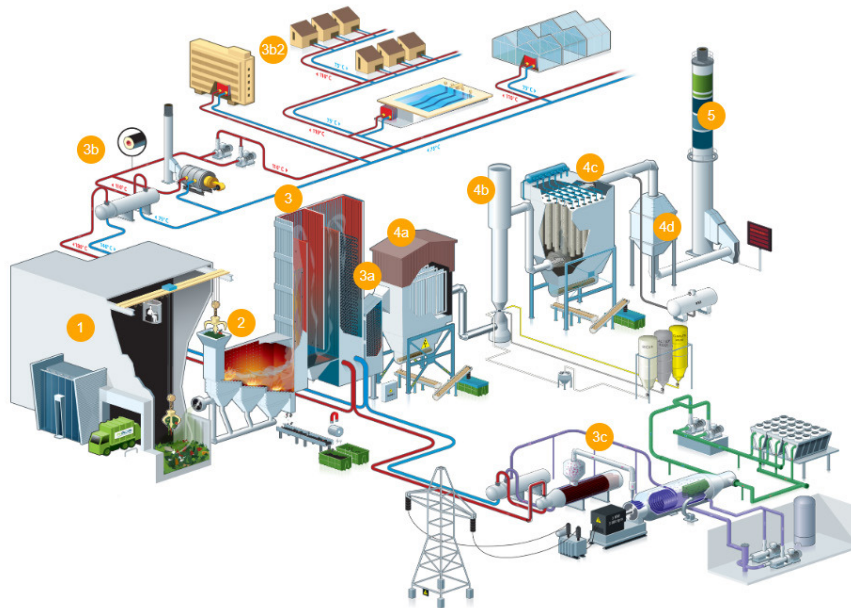
Om de uitstoot van schadelijke gassen te beperken, worden de rookgassen gefilterd. [33]

Het proces blijft werken zolang de afvalcentrale functioneert. De eindgebruikers van het netwerk hebben geen negatieve impact op de CO₂-uitstoot. [Figuur 35] Ze maken geen gebruik van fossiele brandstoffen. Het decentrale systeem is afhankelijk van de verbrandingscentrale die 24/24h werkt.

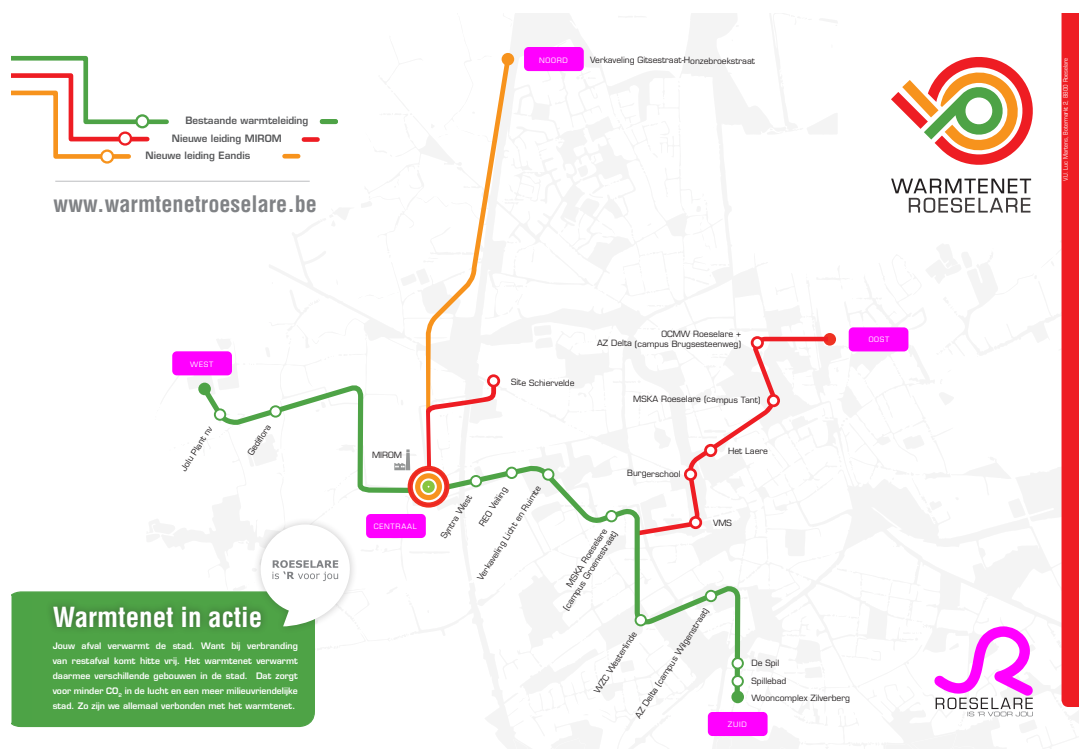
Het ondergrondse 19 km lange netwerk wordt niet alleen gekoppeld aan nieuwe uitbreidingen, maar ook aan het bestaande stedelijke weefsel. [Figuur 37] De stad zet in op de actieve betrekking van alle actoren. De opgedane kennis kan gebruikt worden in andere Vlaamse steden.



Figuur 35: schematische weergave eindgebruikers van het warmtenet [32]



Figuur 36: schematische weergave van de afvalverbrandingsoven MIROM [33]



Figuur 37: ruimtelijke integratie van het warmtenet van Roeselare [34]

ZuidtrAnt, Antwerpen

ZuidtrAnt gooit het over een andere boog. Deze coöperatie is gestart vanuit het bewustzijn van enkele burgers die zich achter een energiezuinig beleid scharen. Geëngageerde mensen slaan de handen in elkaar om de maatschappij een duurzamer energetisch alternatief te bieden. Ze doen dit louter vanuit eigen wil, niet vanuit politieke overtuiging.

ZuidtrAnt is een burgerinitiatief dat focust op duurzame energieprojecten. Deze coöperatie streeft naar een energetische verandering, maar vanuit een ander oogpunt. Omdat niet iedereen de ruimte, het geld of de kennis heeft om hernieuwbare systemen te integreren bieden ze aandelen aan. Geïnteresseerden kunnen aandeelhouder worden van een project dat inzet op groene energie. Een aandeel kost 100 euro en iedereen kan (nog steeds) instappen in het project. Elke aandeelhouder krijgt ook 1 stem binnen de coöperatie ongeacht de hoeveelheid aandelen: het sociale karakter primeert.

Indien de coöperatie winst maakt, zal ook een dividend worden uitgekeerd aan de aandeelhouders. Verder beslissen de aandeelhouders ook over wat er met de winst gebeurt. Naast het deel uitgekeerde winst, is er natuurlijk een percentage dat opnieuw wordt geïnvesteerd in duurzame projecten. Omwille van het gelijke zeggenschap kan iedere aandeelhouder op de jaarlijkse vergadering mee stemmen welk project de voorkeur krijgt voor verdere investering. [35]

Er zijn verschillende projecten lopende. Een eerste initiatief is *Energiezuinig op school* waarbij ZuidtrAnt het energieverbruik van een basisschool monitort zodat het verbruik de school het verbruik kan verminderen. ZuidtrAnt geeft aanbevelingen en biedt ook een educatief programma aan voor de leerlingen. De Zeppelin in Mortsel was de eerste basisschool die het project steunde. [36].

Klimatscholen 2050 focust ook op scholen. Zonder zelf een investering te moeten doen kunnen scholen een zonnedak installeren. Samen met de coöperanten investeert ZuidtrAnt in zonnepanelen en voorzien ze het onderhoud en de technische opvolging. De school kan genieten van duurzame stroom aan een voordelig tarief. Ongeveer 1 500 scholen in Vlaanderen en Brussel komen in aanmerking en kunnen een aanvraag indienen. [37]

Een andere belangrijke pijler binnen ZuidtrAnt zijn zonnedaken. Het is een vergelijkbaar initiatief als *Klimatscholen 2050*. De coöperanten investeren in zonnepanelen die op daken van grootgebruikers worden gelegd. De investeringskost is vaak aanzienlijk waardoor bedrijven die voldoende dakoppervlak hebben toch niet omschakelen naar duurzame alternatieven zoals fotovoltaïsche panelen. Met het geld van de aandeelhouders wordt een zonnedak aangelegd. De bedrijven nemen de geproduceerde stroom af tegen een voordelig tarief dat wordt opgesteld door ZuidtrAnt. Met de winst kan dan een ander project worden gefinancierd en wordt een deel dividend uitgekeerd. Een win-win situatie voor zowel coöperant en bedrijf.

ZuidtrAnt legt wel enkele eisen op voor bedrijven. Niet ieder bedrijf/dak is geschikt. De oriëntatie en bezonning is van cruciaal belang. De PV-panelen moeten presteren.

Via het 'zonnedakprincipe' sluit een bedrijf een twintigjarig contract af. Het tarief wordt individueel bepaald aan de hand van de hoeveelheid opgewekte energie en het verbruik. Alle info ligt direct op tafel en indien beide partijen akkoord gaan, start de plaatsing. Alle kosten qua onderhoud en reparatie blijven gedurende die 20 jaar voor ZuidtrAnt, die ook eigenaar blijft van de zonnepanelen. [38]

Nieuw Zuid, Antwerpen

Langs de Scheldekaaien in Antwerpen schieten verschillende bouwwerken uit de grond. Tegen 2025 zouden er meer dan 2 000 woningen langs het water zijn bijgekomen. Naast de residentiële functies worden er ook verschillende kantoren, publieke gebouwen en een groot park opgetrokken. Het innovatieve aspect van dit project is duurzaamheid op vlak van milieu en energie.

Met deze duurzame wijk zet Antwerpen een stempel op de Europese klimaatdoestellingen. Tegen 2050 wil Antwerpen CO₂-neutraal zijn. Deze wijk wordt gebruikt als laboratorium om verschillende energetische technieken te testen. Duurzaam groen ontbreekt ook in het stadsbeeld van Antwerpen en daarom verschijnt er naast de 39 nieuwe bouwblokken ook een nieuw park. [39] [40]

Op energetisch vlak komt Nieuw Zuid naar buiten met een warmtenet. [Figuur 38] Het ondergrondse netwerk voorziet alle woningen van verwarming en sanitair warm water. De omvang van het project impliceert voor een duidelijke fasering: de volledige realisatie zal ongeveer 15 jaren duren.

De grootte van het project zorgt voor enkele moeilijkheden: de complexen worden in fasen gebouwd en de aanleg van het warmtenet zal ook jaren in beslag nemen. Omdat er verschillende gebouwen al in gebruik zijn genomen, moet het thermisch net ook functioneren. De warmtecentrale, die de warmte produceert, werd in mei 2018 definitief in gebruik genomen. De eyecatcher, een stalen vakwerkconstructie, is duidelijk zichtbaar aan de Scheldekaai. Voorlopig wordt de warmtecentrale nog met gas gestookt. De duurzame oplossing komt er op termijn: tegen 2021 zou de centrale de restwarmte gebruiken van de Istvag-verbrandingsoven van Wilrijk. Hetzelfde principe dat ook werd toegepast in Roeselare en Wenen.

Infrax, water-link, Veolia en Indaver hebben samen onderzoek gedaan naar de integratie van een duurzaam warmtenet. De uitbesteding werd toegeschreven aan Infrax die de uitwerking van het thermisch netwerk nauw in de gaten houdt. In verschillende fases wordt uiteindelijk een 5 km lang leidingennetwerk uitgerold.

De reeds vermelde warmtecentrale warmt het water in het net op tot maximum 90°C. Via goed geïsoleerde leidingen voorziet het alle gebouwen van warmte. [Figuur 39] Het afgekoelde water keert vervolgens terug naar de warmtecentrale.

De uitbreiding van de site gaat samen met de uitbreiding van het warmtenet. Een aantal cijfergegevens geven perspectief over de omvang van het project: [41]

- ongeveer 2 000 woningen
- 20 000 à 40 000 m² lokale voorzieningen, evenveel commerciële functies en 40 000 à 70 000 m² kantoren
- een park van ca. 15 hectare
- totaal warmtenet van 5 km: stalen leidingen voorzien van PUR en PE isolatie
- sleuven van 1 m diep voor leidingen van 30 cm binnendiameter
- aanvoer- en retourtemperatuur respectievelijk 90 °C en 60 °C



Figuur 38: schematische weergave van het warmtenet gekoppeld aan de warmtecentrale [42]

Een kleine opmerking bij Figuur 39. Op verschillende plaatsen wordt een thermische bocht gestoken in het warmtenet. Na aanleg wordt het netwerk op temperatuur gebracht (hier 90 °C). Dit creëert thermische stress op de leidingen met uitzettingen tot gevolg. Via deze expansiebochten worden de maximale axiale spanningen beperkt¹.



Figuur 39: thermische bocht in het warmtenet [43]



Figuur 40: warmtecentrale [44]

1

Warmtenetten Knoop Zuid, opgesteld door Koen Enkels, projectleider warmtenetten Stad Antwerpen. Dit is een document verkregen via e-mail.

Nieuwe Dokken, Gent

Het volgende referentieproject bevindt zich in Gent. Langs de Schipperskaai, dichtbij Gent-Dampoort, worden sinds 2019 een 400-tal woonunits opgetrokken met ondersteunende functies. Het is project opgetrokken door sogent in samenwerking met ontwikkelaar cvba Schipperskaai Development waarbij duurzaamheid hoog in het vaandel wordt gedragen.

Net zoals Freiburg, Wenen en Nieuw Zuid maakt de Nieuwe Dokken ook gebruik van een warmtenet. In tegenstelling tot de vorige referenties wordt dit net niet alleen door restwarmte gevoed. Naast de restwarmte van het naburige bedrijf Christeyns haalt het netwerk ook energie uit afvalwater. Het zogenaamde ZAWENT-systeem levert ongeveer één derde van de warmte en creëert daarnaast decentrale waterzuivering. Het gezuiverde water wordt vervolgens opnieuw gebruikt als proceswater bij Christeyns. [45][46][47]

Het ZAWENT-principe (Zero AfvalWater met Energie- en NutriëntenTerugwinning) maakt gebruik van keukenafval, zwart water en grijs water om dit vervolgens om te zetten in warmte en elektriciteit. [Figuur 41]

In een eerste fase wordt keukenafval en zwart water via vacuüm toiletten¹ verzameld. Dit gebeurt via een vacuümnet dat in verbinding staat met een centrale vergistingstank. Een vergister zet dit mengsel om in biogas dat op zijn beurt warmte en elektriciteit kan leveren. Het grijs water (afkomstig van bad en douche) wordt vervolgens gemengd met het zwart water dat uit de vergister komt. Dat water wordt via een tweede netwerk ingezameld. Via een reactor kan er ten slotte ongeveer 1,5 ton struviet, een meststof, gewonnen worden.

Het scheiden van beide afvalstromen is cruciaal in het proces omdat de verdunning van organische componenten zoveel mogelijk moet worden tegengegaan. Enkel dan is vergisting mogelijk. Het water behoudt ook beter zijn hoge temperatuur waardoor er meer restwarmte uit gehaald wordt. Stel dat het water vertrekt uit de woningen aan ongeveer 28 °C, dan zal het na de waterzuivering nog ongeveer 25 °C bedragen. Uiteindelijk zal er via een warmtewisselaar warmte onttrokken worden voor het warmtenet. De recuperatiestroom bereikt Christeyns aan een temperatuur van 11°C tot 15 °C.

Het ZAWENT-proces dekt dus ongeveer één derde van de warmtevraag van de gebouwen aan de Nieuwe Dokken. Het resterende aandeel wordt geleverd in de vorm van restwarmte door Christeyns, een bedrijf dat hygiëneproducten maakt. De restwarmte, die gedurende het chemische proces vrijkomt zou normaal gezien verloren gaan, maar krijgt door dit project een duurzaam tweede leven. [48]

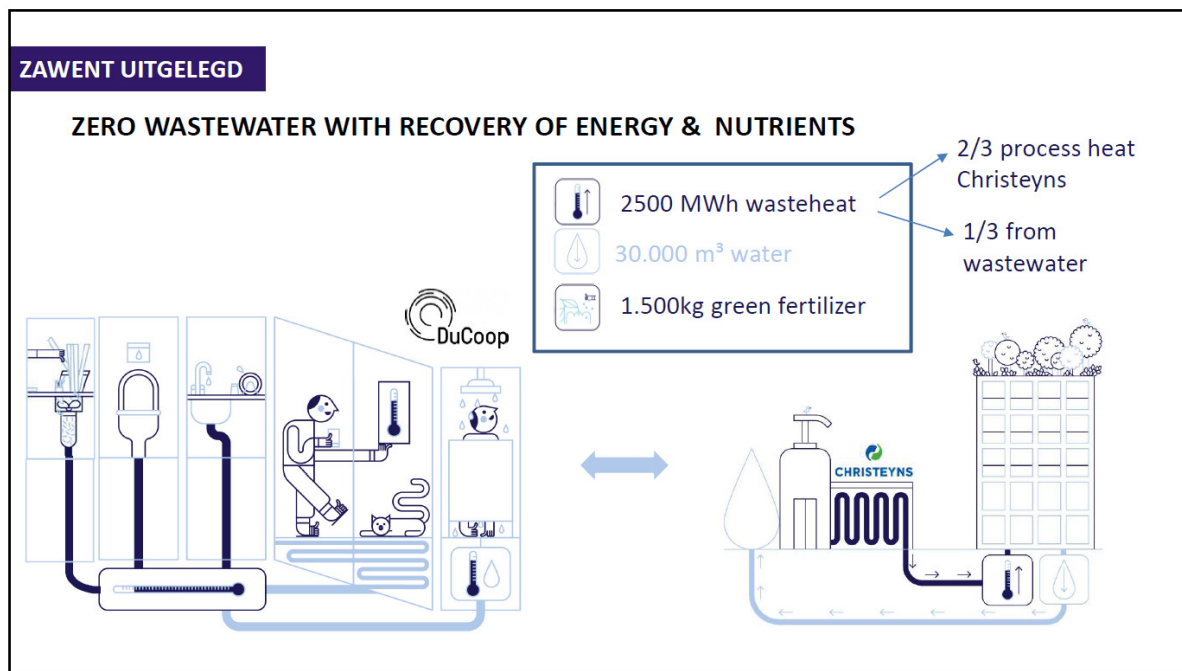
De vertrektemperatuur van het warmtenet schommelt rond de 55°C² en de retourtemperatuur rond de 25°C. Dat is een lage temperatuurnetwerk in vergelijking met de voorbije projecten.

1 Vacuümtoiletten hebben slechts één vijfde spoelwater nodig in vergelijking met de standaard tegenhanger. [46]

2 De gemiddelde temperatuur tussen de restwarmte van het proces van Christeyns en het ZAWENT-principe.

De verschillende duurzaamheidsprincipes zijn tot ontwikkeling gekomen door de oprichting van een coöperatieve vennootschap. "DuCoop cvba is de coöperatieve vennootschap die is opgezet om te investeren in duurzame technieken voor De Nieuwe Dokken", zoals op hun site te lezen staat. [46] Deze cvba heeft verschillende duurzame projecten ontwikkeld voor de Nieuwe Dokken. Het ZAWENT-principe is er één van. Naast de waterzuivering en het warmtenet investeren ze ook in mobiliteit. Het gebruik van elektrische auto's en fietsen wordt gestimuleerd door een net van elektrische laadpalen.

De inwoners worden ook aandeelhouder van de cvba waardoor ze klant en mede-eigenaar worden van DuCoop.



Figuur 41: schematische weergave restwarmte uit ZAWENT en Christeyns [49]

Buurzame Stroom, Gent

Buurzame Stroom is een project gestart in Gent, meer bepaald in Dampoort en Sint-Amandsberg. De basisopzet is simpel: het creëren van een groene-energiewijk voor iedereen door het leggen van fotovoltaïsche panelen. Zonnepanelen hebben een positieve invloed op het klimaat en de energiefactuur. Toch is het plaatsen van fotovoltaïsche panelen niet zo evident. Sommige daken zijn niet geschikt qua oriëntatie en sommige gezinnen kunnen de investering financieel niet dragen. Buurzame Stroom startte daarom twee jaren geleden dit uniek project in Gent. [50]

In een samenwerkingsverband¹ werd Buurzame Stroom opgericht. Ze focussen op de installatie van zoveel mogelijk zonnepanelen op geschikte daken via een groepsaankoop. [Figuur 42] De opgewekte energie kan direct worden ingezet in de wijk zelf.

Burgers en bedrijven kunnen deelnemen aan het project door mee te investeren in de lokale energieproductie via collectieve zonnepanelen of door hun dak ter beschikking te stellen. Een belangrijke eis om deel te nemen aan de groepsaankoop voor zonnepanelen is een goed geïsoleerd dak. Indien de thermische isolatie ontbreekt in het dak moet eerst een grondige renovatie gebeuren. De kost zou hierdoor wel de hoogte in schieten.

Ze kunnen hierdoor hun elektriciteitsfactuur verlagen en hun verbruik afstemmen op de momenten waarop de zonne-energie het hoogst is.

Buurzame Stroom wil zoveel mogelijk duidelijke aanbevelingen geven om zonne-energie zo efficiënt mogelijk in te zetten. Door in te zetten op zowel de energievraag als het energieaanbod wordt een win-win situatie gecreëerd voor burgers, bedrijven en het klimaat. Ze proberen dit te doen zonder drastische wijzigingen in de wijk aan te brengen.

Een positieve noot doorheen het project is het heersende gemeenschapsgevoel. De energietransitie die de samenwerkende organisaties willen teweeg brengen, moet een zo breed mogelijk draagvlak hebben. Dit betekent dat zoveel mogelijk mensen de kans krijgen om in het project te stappen. De sociale component is erop gericht om ook gezinnen met een lager inkomen, een groep die vaak buiten beschouwing wordt gelaten, te betrekken. Ook taalbarrières, vaak een belemmering, worden in de mate van het mogelijke aangepakt. De campagnes die de uiteindelijke uitvoering zijn vooraf gegaan, waren een belangrijke factor in het verhaal. Verschillende buurtvergaderingen, flyers, posters, ... probeerden zoveel mogelijk mensen warm te maken. [Figuur 43] De openhartigheid van de medewerkers en de openlijk beschikbare info maakten het project succesvol.

Zoals blijkt uit volgende getuigenissen was de communicatie een cruciale factor was. De heldere informatie, zowel algemeen als gericht, gaf vaak de doorslag om deel te nemen.

"Zonder Buurzame Stroom had ik er niet bij stilgestaan dat zonnepanelen voor mij een betaalbare optie waren. Ik kreeg snel zicht op de echte kosten voor een installatie op maat van mijn verbruik." (Suzy, 33 jaar).

"Als we vrienden of burens tevreden vertellen over de zonnepanelen vragen ze heel vaak naar de firma die ze geïnstalleerd heeft. Maar daar draait het niet om. De begeleiding van de onafhankelijke experts van Buurzame Stroom maakt het verschil." (Buurtbewoner Unal)

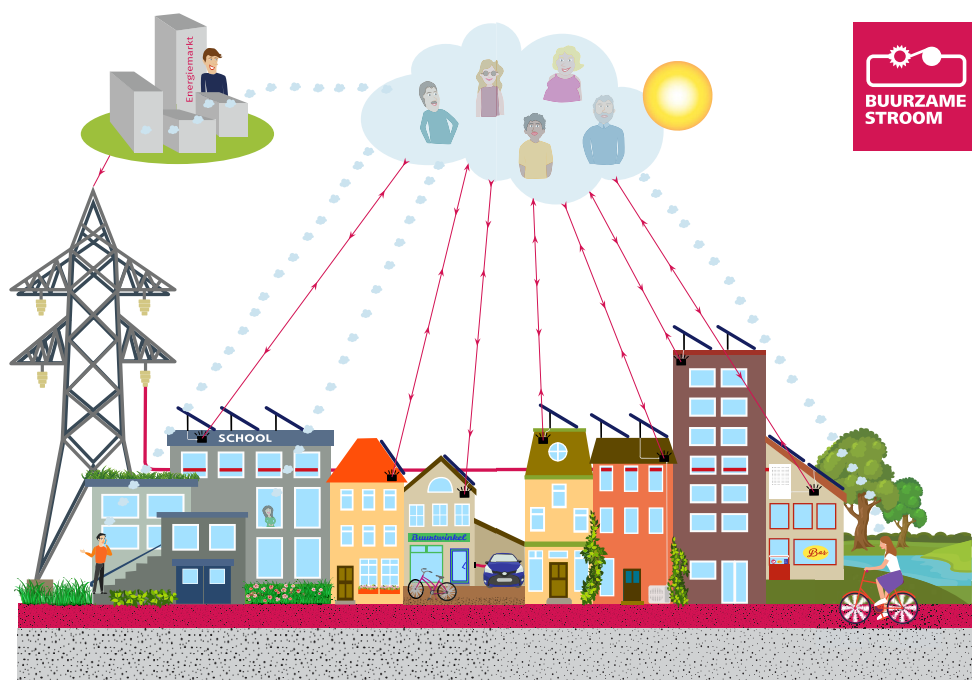
¹ Buurzame Stroom is een samenwerking tussen EnerGent, Samenlevingsopbouw, Stad Gent, de Energiecentrale, Fluvius, Ecopower, Universiteit Gent en EANDIS.

Uiteindelijk werden er op 102 woningen, 2 appartementsgebouwen, 8 huurwoningen, 2 scholen en 8 bedrijfsgebouwen 2 535 zonnepanelen gelegd. Daarmee kan ongeveer 720 kWp worden opgewekt.

Het sociale aspect wordt duidelijk met de gehaalde resultaten van kwetsbare gezinnen en gezinnen met een taalbarrière: 20 gezinnen van de 113 gezinnen met een taalbarrière zijn in het project gestapt waarvan twee woningen zonnepanelen hebben geïnstalleerd. 57 van de 200 gezinnen met beperkte middelen hebben het traject gevolgd waarvan negen woningen momenteel zonnepanelen hebben aangekocht via de groepsaankoop. [51]



Figuur 42: toepassingsgebied in Dampoort en Sint-Amandsberg



Figuur 43: infocache Buurzame Stroom [51]

Godshuizen *De Schipjes*, Brugge

Energetische renovatie kan ook op maat van historische gebouwen. Godshuizen *De Schipjes* hanteert een speciale aanpak waarbij energetische optimalisatie en gebouwenzorg hand in hand gaan. Deze proeftuin dient als leerproject voor historische beluiken, exploitatiehofjes en godshuizen in Vlaanderen. De historische gebouwen in stadscentra dienen energetisch en ecologisch opgewaardeerd te worden met aandacht voor de architectuur.

Deze case bevindt zich in Brugge: een woonerf met elf quasi identieke woningen in het historische stadscentrum. [Figuur 44] De in 1908 gebouwde huisjes werden in 2000 al eenmaal gerestaureerd met respect voor de bestaande situatie. Ook de technische installatie werden vernieuwd. Met uitzondering van het dak zijn de gebouwen nauwelijks geïsoleerd of winddicht. In de winter is een hoog energiegebruik vast te stellen om een deftig comfort te behalen. Toch zijn er nog verschillende problemen die her en der opduiken. [52]

Omwille van de architecturale kwaliteiten is het niet evident om dergelijke woningen te renoveren én daarbij hernieuwbare energieconcepten te integreren. Monumentenzorg stelde duidelijke grenzen bij dit beschermd en bouwkundig erfgoed. [53] OCMW Brugge ging samen met verschillende partners in zee: OCMW-vereniging De Schakelaar, KU Leuven, UGent, studiebureau boydens, Microtherm en Viessmann België. Samen gingen ze op zoek naar een methode om dergelijke woningen in historische centra energetisch-ecologisch op te waarderen.

Het doel voor ogen was het reduceren van de primaire energievraag voor verwarming en sanitair warm water met 35%. De toepassing van een klein warmtenet laat een gunstige optimalisatie toe, maar hiervoor zijn aanpassingen aan de gebouwen nodig. In vier fases worden telkens drie huisjes aangepakt waardoor een constante monitoring van de afgewerkte huisjes kan gebeuren.

Uit vooronderzoek bleek dat er reeds 8 cm minerale wol (nog in goede staat) aanwezig was in het dak. Daardoor daalde het vooraf theoretisch berekende transmissieverlies al met 350 W. Het transmissieverlies van 8 600 W doorheen de gebouwschil was berekend aan de hand van de norm NBN B 62-003.

De woningen hebben ongeïsoleerde vloeren en muren met tocht- en vochtproblemen als gevolg. Naast de schimmelvorming waren er luchtlekken te bespeuren in de ramen.

Een optie om de transmissieverliezen te beperken is onder andere via dak- en muurisolatie en vervanging van het schrijnwerk.

Het isoleren van de vloer was niet voor de hand liggend. De beperkte hoogte boven de aanwezige betonnen vloerplaat beperkt de isolatiedikte tot amper 2 cm. Gebruik makend van een vacuümisolatie in plaatvorm¹ kon per vloeroppervlak van 20 m² 450 W bespaard worden op de theoretisch berekende transmissieverliezen.

De buitenmuren hebben een groot aandeel in de gebouwschil. De beschermde gevel bestaat uit metselwerk van anderhalve steen dik zonder spouw. De keuze van isolatie mocht geen impact hebben op de buitengevel en de relatief kleine binnenoppervlakken. Er werd uiteindelijk gekozen voor een isolatiemateriaal op basis van aerogel: een stof die voor 90% uit lucht bestaat, waterafstotend is, uv-resistent is en een smeltpunt van 1 200°C heeft.

1

Slimvac vacuümisolatie van Microtherm-Promat gekenmerkt door een lage thermische geleidbaarheid

Het product is te verkrijgen in beweeglijke matten, harde platen en pleister. Uiteindelijk werd de isolerende pleister gekozen. De dikte van de aerogel-pleister varieert van 1,1 en 2 cm afhankelijk van de ruimte. De bestaande verwarmingsinstallatie werd behouden en geschakeld op het warmtenet met een laag temperatuurregime. Per woning kan door deze aanpassingen al een besparing van 4 300 W worden geregistreerd.

Vóór de renovatie was er houten schrijnwerk aanwezig met enkele beglazing en de in 2000 geplaatste voorzetramen. Na een positief advies van het Agentschap Onroerend Erfgoed werd besloten om de voorzetramen te verwijderen om het beeld te herstellen. [Figuur 45] Blowerdoortests en infraroodfoto's toonden dramatische beelden inzake luchtdichtheid.

Een aantal opties werden onderzocht en al snel werd beslist om ook het houten schrijnwerk te vervangen. Verschillende varianten op het glas werden aan de kant geschoven:

- een speciale low e coating¹ aan de binnenzijde van de ramen
- vacuumbeglazing

De uiteindelijke oplossing was dun monumentaal glas. De uiteindelijke dikte van het glas mocht maximum 1 cm bedragen zodat de dimensies van het vernieuwde schrijnwerk dezelfde bleven als de bestaande kaders. Er werd gekozen voor 3-3-4 mm glas wat ook akoestische voordelen biedt. De toepassing van low e coating wordt nog toegepast zodat de U-waarde verder daalt. De raamoppervlaktes zijn relatief klein, maar er kan toch een vooruitgang van 200 W geboekt worden.

De uiteindelijke energiebesparing kwam in totaal neer op 5 300 W, aanzienlijk hoger dan de vooropgestelde 35%. [54]



Figuur 44: luchtfoto Godhuizen, Brugge

1

Deze coating van meerdere dunne laagjes metaaloxide wordt aangebracht om de isolerende eigenschappen te verbeteren.



Figuur 45: gevelbeelden Godshuizen, Brugge [55]

Conclusie

De acht verschillende referentieprojecten pakken op diverse wijzen het energetische vraagstuk aan. Vaak start het vanuit doelstellingen opgelegd door Nationale of Europese overheden of vanuit eigen bewustwording. Soms is het een combinatie van de twee. De uitkomst is overal hetzelfde: duurzame energieopwekking ter vervanging van fossiele brandstoffen.

Enkele criteria zijn van belang om mee te nemen in het ontwerpend onderzoek. Het gaat dan vooral over beslissingen, strategieën of praktische vertalingen naar de realiteit.

Eerst en vooral is het principe van een warmtenet multi-inzetbaar. In hoofdzaak wordt het, vooral in België, toegepast op nieuwe wijken of stadsuitbreidingen, maar het kan ook bestaande wijken voorzien van verwarming en sanitair warm water.

Restwarmte of residuele warmte wordt vaak gebruikt als voeding voor het thermisch net, maar hernieuwbare bronnen bieden ook mogelijkheden. Het is belangrijk om te kijken naar welke mogelijkheden in de dichte omgeving van de site zijn gelegen en op welke manier de opportuniteiten kunnen ingezet worden.

Individuele aanpassingen worden vaak gesteund door collectieve systemen. In Freiburg ondersteunen de (bijna-)energieneutrale woningen het collectieve warmtenet. Hierbij wordt zowel de vraag- als aanbodzijde van de energie aangepakt. De energievraag wordt gereduceerd door de woningen thermisch performant te maken. Het energieaanbod wordt duurzaam opgewekt in het collectieve net.

Tot slot mag ook het sociale aspect niet vergeten worden. Om een project aantrekkelijk te maken moet een zo breed mogelijk draagvlak gecreëerd worden. Hoe meer mensen genieten van duurzame energie, hoe groter de invloed op het klimaat.

Casestudy

Centrum Antwerpen heeft een duidelijk afgebakende onderlegger: een dens bebouwde stadskern met drukke verkeersassen. Een functionele variatie identificeert Antwerpen: een stadskern waarbij wonen en werken elkaar afwisselen.

Een groot aandeel van de woningen in het Antwerpse zijn gedateerd. De huidige EPB-eisen worden amper of niet gehaald. Fossiele brandstoffen in hoofdzaak aardgas, Figuur 4 in "Klimaatinvloeden", worden nog steeds gebruikt voor verwarming en sanitair warm water. Kortom, de 19de-eeuwse stadswijk is toe aan een energetische verandering.

Stad Antwerpen (onder)steunt verschillende projecten die inzetten duurzame energieopwekking, waarvan ZuidtrAnt een voorbeeld is. Warmtenetten zoals toegepast in Nieuw Zuid zijn ook geen nieuw begrip in Antwerpen. Onder andere netbeheerder Fluvius is bezig met het uitrollen van diverse thermische netten gevoed door de restwarmte van industriële installaties waaronder verbrandingsovens en waterzuiveringsinstallaties.

De gebieden gevoed door de residuele warmte bevinden zich vaak dicht bij de warmteopwekkers of zijn nieuwbouw- en uitbreidingsprojecten. Lokale initiatieven in het centrum van de stad, met een bestaande onderlegger, komen minder frequent voor.

In deze masterproef ligt de focus op de integratie van een warmtenet in een bestaande 19de-eeuwse stadswijk om de energietransitie mede mogelijk te maken. Dit lokaal thermisch netwerk voorziet alle gebruikers van voldoende verwarming en sanitair warm water. Verschillende ingrepen op individueel en collectief niveau maken de overgang naar een duurzaam geheel mogelijk.

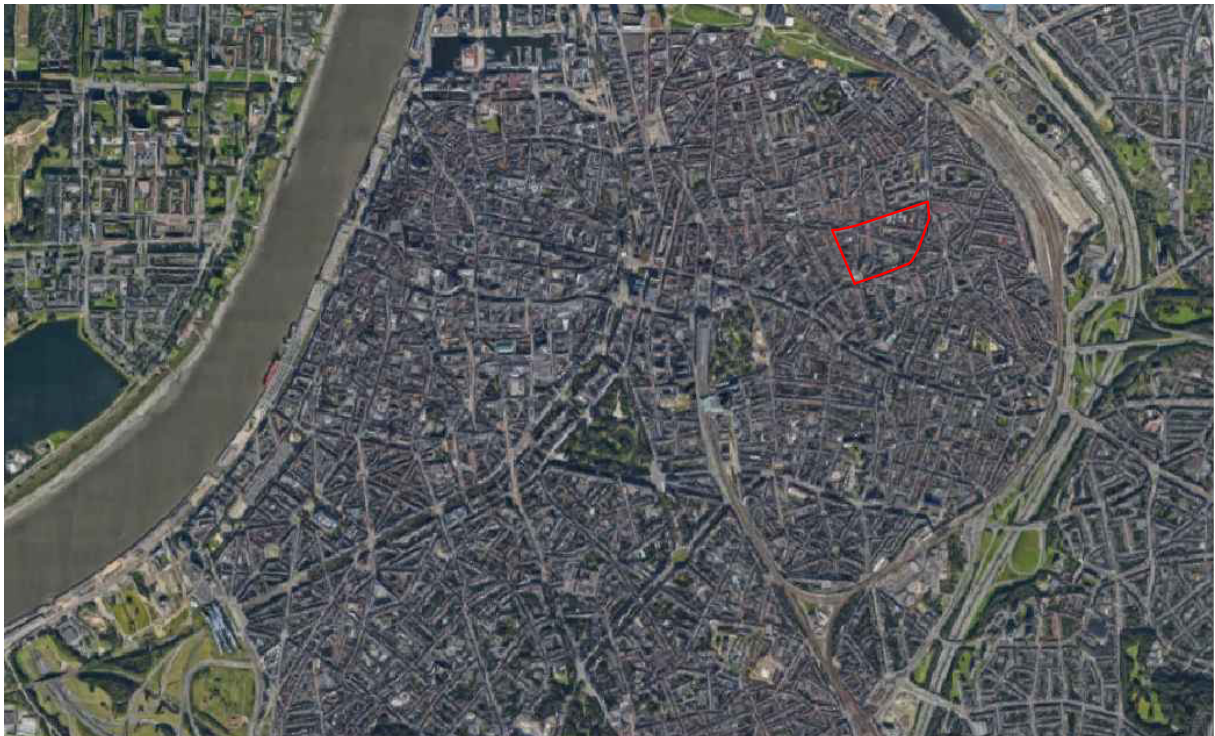
De 19de-eeuwse stadswijk

De site ligt in Antwerpen. [Figuur 46] In het drukke centrum van Borgerhout, op 1,5 km van station Antwerpen-Centraal, gekenmerkt door de Sint-Willibrorduskerk, staan een achttal bouwblokken. De site is typerend voor de Antwerpse stadskern: een variatie van verschillende 19de-eeuwse rijwoningen met uiteenlopende commerciële functies. De casestudy ligt net buiten het commerciële centrum zodat de nadruk van de renovatie op het wonen ligt.

De Kerkstraat in het westen en het zuiden, de Sint-Willibrordusstraat in het oosten en de Lange Beeldenkensstraat in het Noorden sluiten de wijk af. [Figuur 48] Net buiten de wijk staat het ZNA Stuivenberg dat momenteel herontwikkeld wordt. [Figuur 12, "RUP: stad Antwerpen 2012"]



Figuur 46: luchtfoto Antwerpen



Figuur 47: Antwerpen centrum



Figuur 48: luchtfoto van de site

Wijkonderzoek

Om een duidelijk beeld te krijgen van de site en er de sfeer op te snuiven, is een bezoek ter plaatse noodzakelijk. De eerste keer op de site was op 19 oktober 2019. Via een korte fotoreportage [Figuur 49] vallen een aantal zaken op: de Sint-Willibrorduskerk springt in het oog van wanneer je via Antwerpen-Centraal te voet naar de site stapt. De volledige wijk is volgebouwd met een mix van rijwoningen en, in minder mate, appartementen. De binnengebieden staan vol met verschillende bijbouwen waardoor de tuinen bijzonder klein worden. Een aantal grote bouwwerken staan tussen de rijwoningen, vaak uitgestreken tot ver in binnengebieden. In het straatbeeld vallen de verschillende architecturale 19de-eeuwse voorgevels op. Ze worden gekenmerkt door erkers, kroonlijsten en dieptewerking in de gevel. Niet alle straten hebben een even groot aandeel van dergelijke gevels. Tot slot zijn sommige herenhuizen omgevormd tot appartementencomplexen, wat zichtbaar is aan het aantal brievenbussen.



Figuur 49: fotoreportage 19 oktober 2019

De wijk

Een volgende stap is het in kaart brengen van de volledige wijk. Een aantal zaken die duidelijk werden uit het eerste sitebezoek komen naar voren in Tekening 1 en Tekening 2, het nederzettingsspatroon van de wijk. Verder digitaal onderzoek¹ was noodzakelijk om de site te bevatten.

De wijk is opgebouwd uit acht bouwblokken telkens van een verschillende grootte. De Sint-Willibrorduskerk, in het zuiden, springt als grootste bouwwerk meteen in het oog. Deze neogotische kerk was afgewerkt in 1891. De buitengevel van het beschermd monument² werd recent gerenoveerd. Voor de kerk ligt een stedelijk plein waarin een kunstwerk zit verweven.

De wijk bestaat hoofdzakelijk uit residentiële rijwoningen en appartementen (grijs, Tekening 1). Vrijstaande woningen of villa's komen niet voor in de wijk. De meeste rijhuizen hebben een uitbreiding aan de achtergevel, wat leidt tot een kleinere tuin en een volgebouwd binnengebied. Het aandeel groen in de wijk is bijzonder laag of ontbreekt in vele gevallen, zichtbaar in Figuur 48, terwijl uit het hoofdstuk "Groendaken" bleek dat het aandeel groen de leef- en woonkwaliteit kan verhogen.

Het aandeel commerciële functies (groen, Tekening 1) is ook relatief beperkt. Het gaat in de meeste gevallen om een commerciële functies (winkels, kappers, printshops, ...) in de sokkel waarboven nog een woning of appartement te vinden is. In de Lange Beeldenkensstraat, dichtbij het ziekenhuis ZNA Stuivenberg, liggen er enkele grotere winkels zonder gekoppelde woonfunctie.

Drie scholen (blauw, Tekening 1) vallen op in de acht bouwblokken. In het noorden, tegenover ZNA Stuivenberg ligt het Stedelijk Lyceum. Ten oosten van de kerk, in het grootste bouwblok, ligt het Sint-Jozefinstituut. Sint-Maria, het laatste schoolgebouw, ligt ten westen van de kerk. De grote complexen liggen verweven tussen de rijwoningen. De gebouwen rijken tot diep in de binnengebieden. De grote vrije ruimtes zijn de speelplaatsen van de drie scholen waardoor de densiteit van de wijk daalt. Verschillende woningen in de Lovelingenstraat, gelegen ten oosten van de school Sint-Maria, hebben een overeenkomst gesloten met het schoolbestuur waardoor de bewoners na de schooluren gebruik kunnen maken van de schoolterreinen. Op die manier kunnen de bewoners genieten van een grotere buitenruimte en zijn ze niet beperkt tot hun kleine tuin.

Het artistiek centrum Troubleyn/Jan Fabre [56] (rood, Tekening 1) is qua schaal gelijkaardig aan de drie scholen. Het complex herbergt twee repetitieruimtes die beschikken over diverse artiestenfaciliteiten.

Tot slot is het ZNA Stuivenberg (paars, Tekening 1) ook zichtbaar, maar valt het net buiten de site. Het complex wordt reeds herontwikkeld. De nadruk ligt vooral op het creëren van stedelijk groen en enkele ondersteunende functies voor de wijk zoals reeds aangehaald in "RUP: stad Antwerpen 2012".

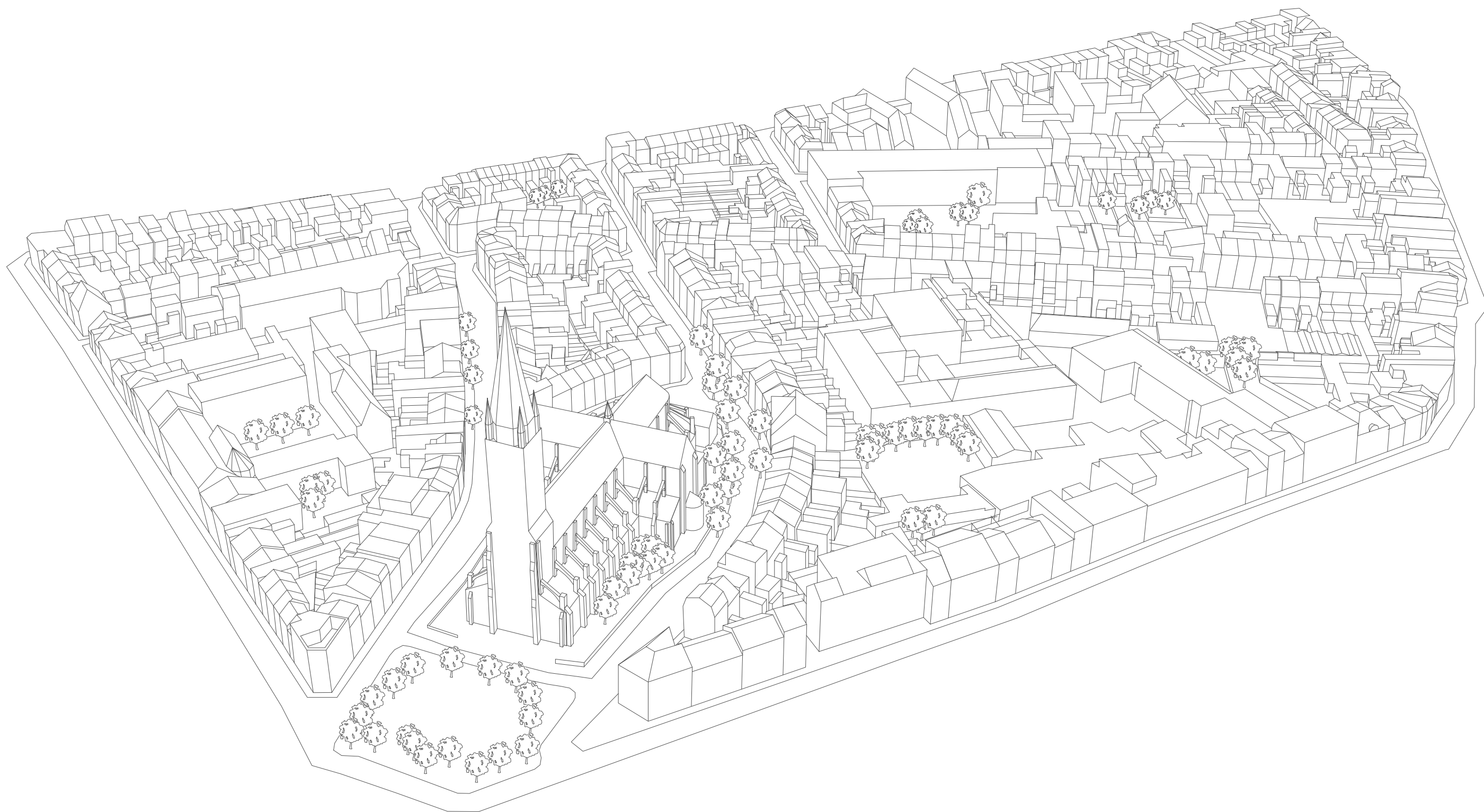
Om een duidelijk zicht te krijgen op volumetrie van de wijk wordt in Tekening 2 het gebouwenbestand weergegeven. Zoals aangehaald in "Klimaatwijken" zijn er verschillende privaatieve eigenaars en enkele lokale en gewestelijke diensten zoals bijvoorbeeld Troubleyn/Jan Fabre en de kerk.

1 Bijkomende info werd vooral via Geopunt verkregen. [57]

2 De kerk is geregistreerd als bouwkundig monument sinds 2019. [58]



Tekening 1: planweergave van de wijk met aanduiding van de functies



Tekening 2: gebouwenbestand van de wijk rond de Sint-Willibrorduskerk

Naast een globaal beeld van de wijk, zijn de individuele units van primordiaal belang. De architecturale kwaliteiten zijn zichtbaar in de façades van de rijwoningen. Het gaat hier in hoofdzaak over de historische waardevolle gevels van de 19-de eeuwse herenhuizen zoals in Tekening 3 en Tekening 4. De typische voorgevel is opgebouwd uit drie verdiepingen (of lagen) met een zadeldak. Het gelijkvloers bevindt zich meestal een paar treden hoger dan het straatniveau waardoor de kelder zichtbaar is.

De esthetische gevels worden gekenmerkt door een horizontale gelaagdheid: de plint, de drie verdiepen, afgewerkt met een kroonlijst. De dieptewerking springt in het oog: de lijsten rond het schrijnwerk, de voordeur op het tweede plan, uitspringende erkers, etc.

De plint bestaat in de meeste gevallen uit blauwe hardsteen terwijl de rest van de gevel in hoofdzaak is opgetrokken uit baksteen zonder spouwmuur. De steen is amper zichtbaar door de pleister geaccentueerd met pigment als afwerking.

Deze rijwoningen hebben vaak geen of weinig isolatie in de voorgevel, de achtergevel en het dak. De ramen zijn bovendien verouderd en hebben enkele beglazing. De transmissieverliezen doorheen de gebouwschil lopen hierdoor snel op wat leidt tot een hoge verwarmingsbehoefte. Bijna alle woningen in de Antwerpse wijk gebruiken een gasketel om hun woning te verwarmen, eventueel bijgestuurd met elektrische vuurtjes [6]. De verbranding van de fossiele brandstof gaat gepaard met de uitstoot van CO₂.

Een energetische renovatie van de woningen vergt zowel een verandering van de vraag- als aanbodzijde van de verwarming.

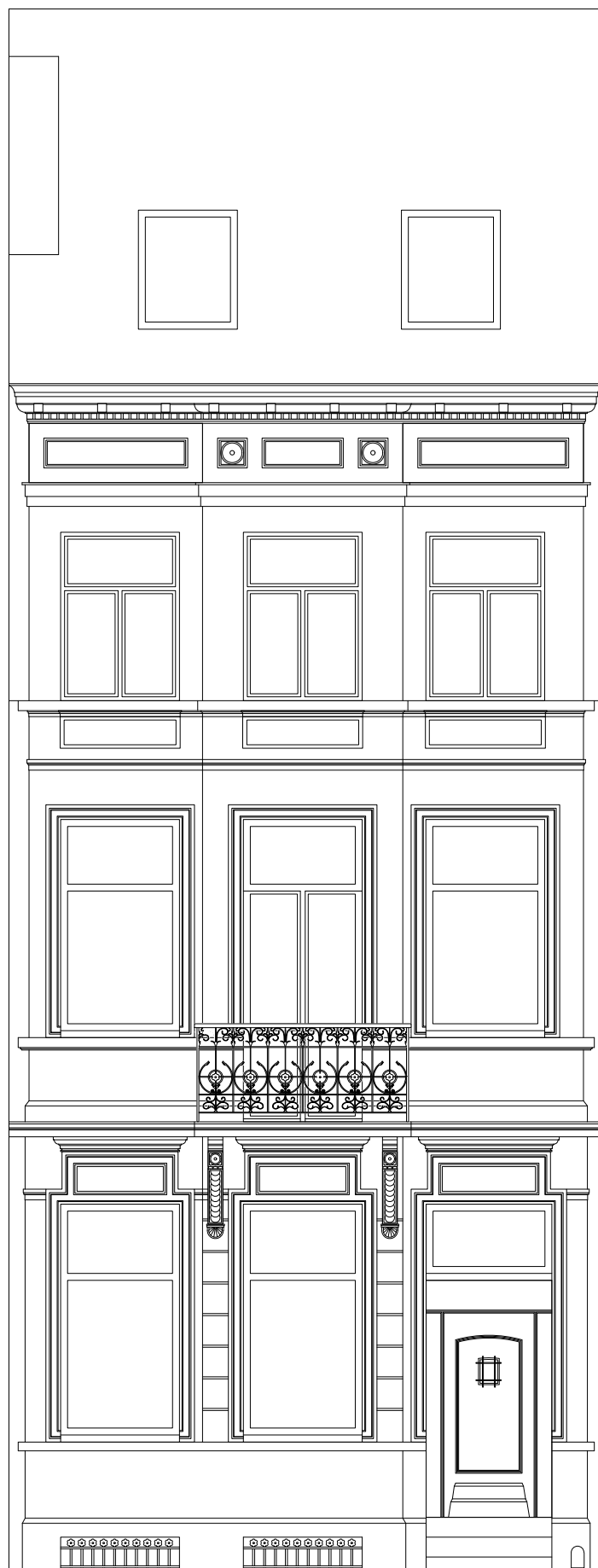
Minder architecturaal uitgesproken gevels zijn vaak terug te vinden in de appartementencomplexen van de wijk. Een typisch voorbeeld is weergegeven in Tekening 5. De façades hebben minder uitgesproken kwaliteiten. De dieptewerking en detaillering, zoals in de 19-de eeuwse gevel, is niet terug te vinden in Tekening 5.

Dit complex telt acht units terwijl het gemiddelde aantal appartementen per gebouw vijf bedraagt. Toch is dit complex in de Pothoekstraat een typerend appartement in de wijk. Het verschil is te verklaren: in totaal zijn er 198 individuele appartementen terug te vinden verdeeld over 40 complexen. Het effectieve gemiddelde ligt dus op vijf units. In de telling zijn ook verschillende 19de-eeuwse herenhuizen opgenomen die bewoond worden door twee of zelfs drie gezinnen. Hoewel deze gebouwen in het straatbeeld rijhuizen zijn, worden ze meegeteld als appartement. De onderverdeling is dus gebaseerd op het aantal inwonende gezinnen.

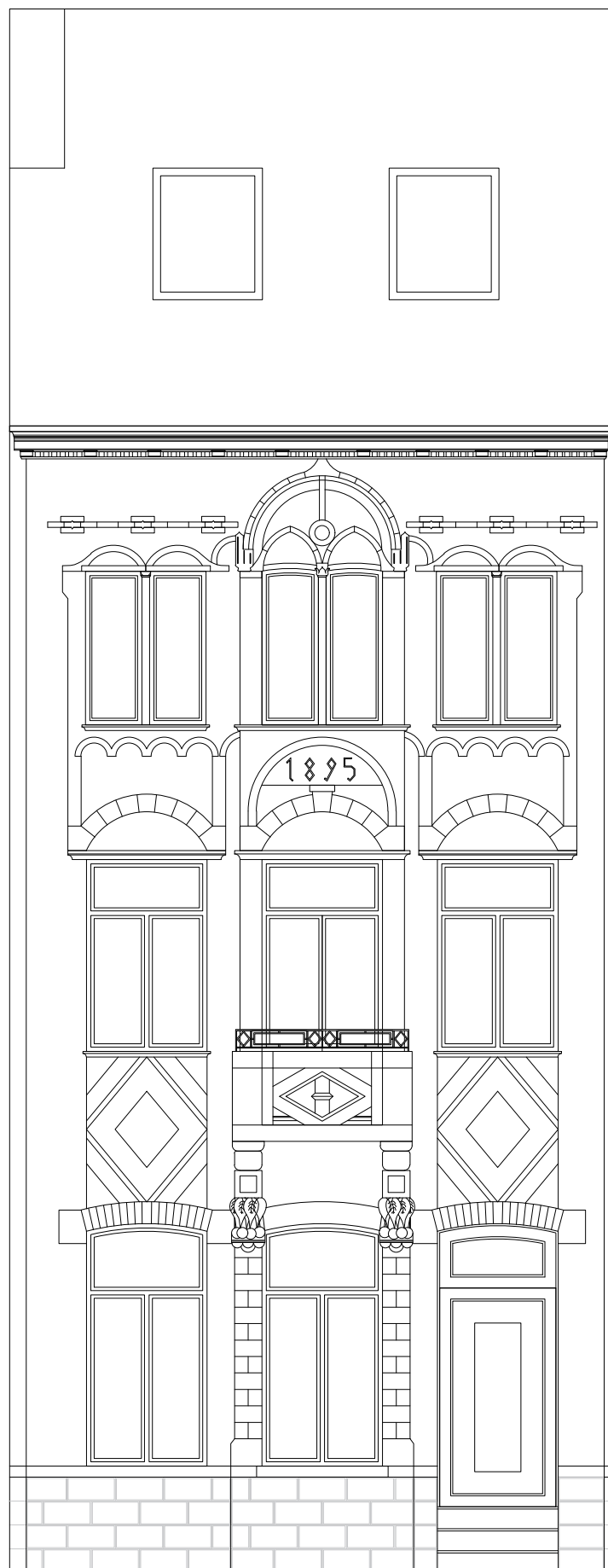
Ook in deze appartementen, zoals in Tekening 5, ontbreekt vaak enige vorm van isolatie. Het schrijnwerk is verouderd en bevat enkele beglazing. Daarnaast wordt ook hier verwarmd met een gasketel. De transmissieverliezen lopen hoog op en de behoefte wordt ingevuld door middel van de verbranding van fossiele brandstoffen.

De volgende stap is het berekenen van de verwarmingsbehoefte van elk gebouw in de wijk. Naast de residentiële gebouwen zijn er ook nog commerciële functies, kantoren en scholen terug te vinden in de wijk. Deze gebouwen hebben ook een specifieke warmtevraag.

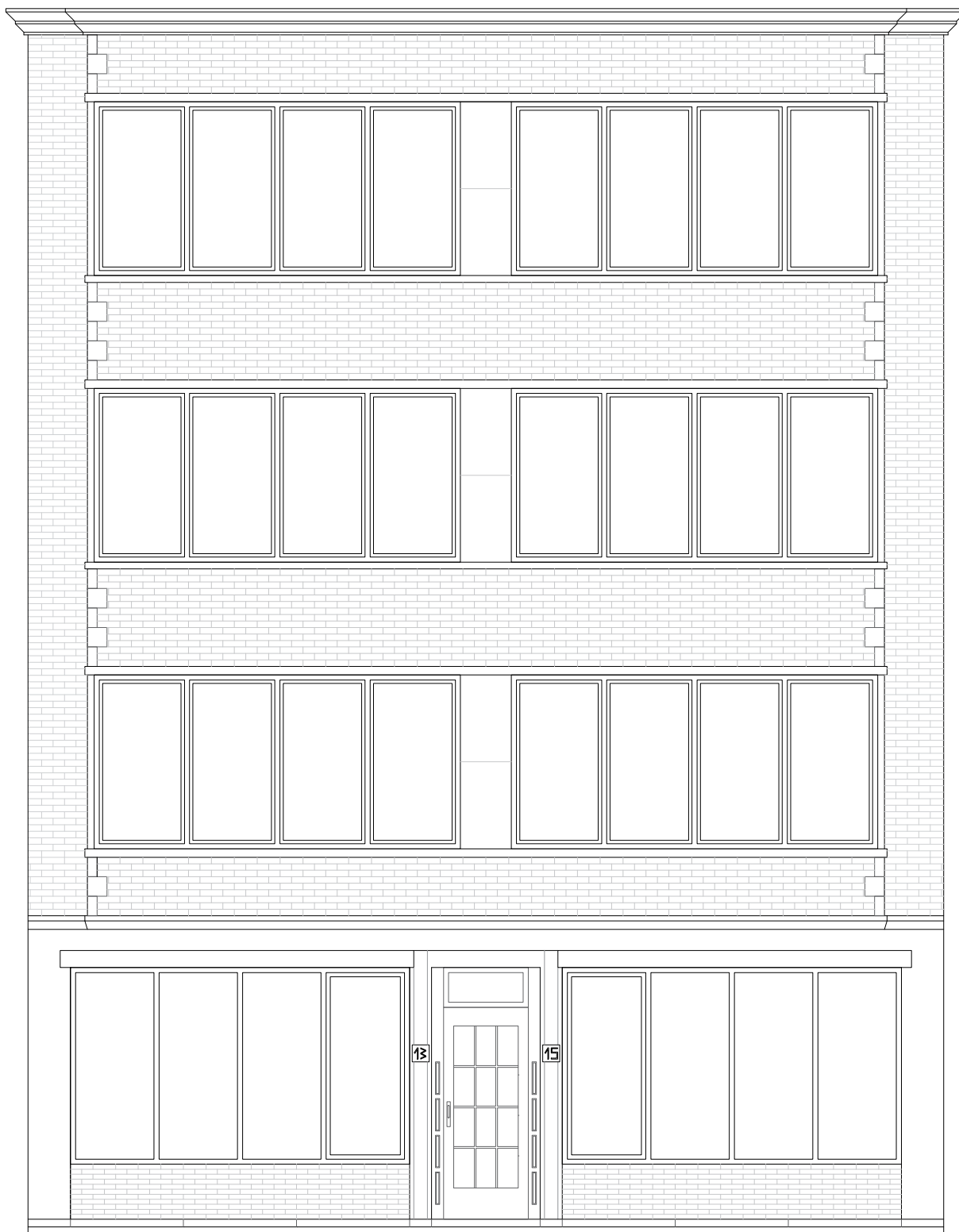
Een eerste onderzoek focust op de renovatiegraad van de verschillende complexen. Welke renovatiegraad is nodig om een duurzame opwekking te kunnen integreren? Het verbruik en de opwekking van verwarming en sww moeten correct op elkaar afgestemd worden wat aanpassing vergt aan vraag- en aanbodzijde. Het tweede onderzoek focust logischerwijze op de opwekking (het aanbod) van energie.



Tekening 3: gevel Pastorijstraat 29



Tekening 4: gevel Pastoorijstraat 51



Tekening 5: gevel Pothoekstraat 13-15

Ontwerpend onderzoek

Vorige hoofdstukken gaven inzicht in de mogelijkheden op vlak van energietransitie en duurzame energiebronnen. Het warmtenet werd meerdere malen geïntegreerd om een nieuwe of bestaande wijk te voorzien van verwarming en sww. De volgende stap is dus de integratie van een thermisch netwerk in de voorgestelde wijk in Antwerpen.

De integratie van een warmtenet in een bestaande 19de-eeuwse stadswijk is (nog) niet alledaags. Een collectieve strategie biedt een springplank om de gehele wijk energetisch aan te pakken. Hoewel de wijk een belangrijke factor is in de renovatiestrategie, vergt de individuele woonunit ook de nodige aandacht. De renovatie van de bestaande gebouwen in de wijk is noodzakelijk om de energievraag voor verwarming te laten dalen. Pas dan kunnen de verouderde technische installaties vervangen worden door het collectieve net.

Ondersteund door verschillende berekeningen wordt de energievraag in kaart gebracht. Daaruit volgen enkele renovatiestrategieën voor de rijwoningen en appartementen. Aan de hand van deze gegevens kan de decentrale opwekking en distributie van het warmtenet uitgewerkt worden.

Daarnaast is de financiële analyse aan de hand van de integratiekosten een doorslaggevende factor. De integratie van een warmtenet vergt veel inspanningen waardoor een bepaald rendement gewenst is.

Omwille van deze toch wel doorslaggevende factor, is het interessant om de afweging te maken met een alternatieve strategie. Naast een collectief warmtenet kan een individuele lucht/water-warmtepomp geplaatst worden in elke woning.

Daarenboven moet het akoestisch comfort te allen tijde gegarandeerd worden. Zowel in het collectieve systeem als de individuele strategie mogen de geluidsnormen nergens overschreden worden waardoor de levenskwaliteit van de wijk achteruit gaat.

Ten slotte is de levensduur van elk systeem niet te onderschatten. Een investering wordt gemaakt voor de toekomst. Welk systeem is het meest tijdsbesteding?

Energieverbruik bestaande situatie

De bestaande stadswijk, in hoofdzaak de residentiële woningen, heeft verschillende gebreken qua technische installaties en thermische performantie. De typische 19de-eeuwse gevel heeft bijzonder veel architecturale kwaliteiten, maar deze gaan gepaard met hoge warmteverliezen door het gebrek aan isolatie in de gebouwschil. De huidige warmtevraag van de verschillende woningen wordt in dit hoofdstuk aangehaald.

Het verbruik van de verschillende woningen zonder enige renovatiestrategie ligt bijzonder hoog. Het gemiddelde gasverbruik voor verwarming bedraagt $348 \text{ kWh/m}^2/\text{jaar}$. [59] Dat betekent dat de technische installatie in een woning van 220 m^2 $76\,560 \text{ kWh/jaar}$ moet kunnen opwekken¹. Daarnaast verbruikt een gezin ook sww. De dagelijkse behoefte is afhankelijk van het aantal gezinsleden. Dagelijks verbruikt een persoon gemiddeld 60L sww. [60] Dat komt overeen met een energieverbruik van $2,44 \text{ kWh}$ per dag. Een gezin van vier, die in een woning van 220 m^2 zou kunnen wonen, heeft dan een dagelijkse behoefte van $9,77 \text{ kWh}$ wat neerkomt op $3\,566 \text{ kWh/jaar}$ ².

De totale warmtevraag voor een woning van 220 m^2 , zowel voor verwarming en sww, komt dus neer op $80\,126 \text{ kWh/jaar}$. De technische installatie moet dit verbruik dus kunnen opwekken.

Voor een appartement kan dezelfde analyse worden gemaakt. Het gemiddeld gasverbruik bedraagt ook $348 \text{ kWh/m}^2/\text{jaar}$. [59] De oppervlakte van een appartement bedraagt gemiddeld 100 m^2 . Voor een dergelijk appartement komt dit neer op een verbruik van $34\,800 \text{ kWh/jaar}$ ³. In een appartement woont in de meeste gevallen een koppel. Het dagelijks verbruik is dus de helft van de rijwoning, namelijk $4,88 \text{ kWh}$ per dag. De jaarlijkse behoefte bedraagt dus $1\,783 \text{ kWh/jaar}$ ⁴.

De totale warmtevraag voor een appartement van 100 m^2 komt neer op 36.583 kWh/jaar . Een individuele installatie moet dit verbruik kunnen dekken. Een installatie kan ook gedimensioneerd worden op vlak van een volledig complex met bijvoorbeeld acht appartementen.

Naast residentiële woningen zijn er ook commerciële functies, kantoren, scholen en andere functies⁵ aanwezig in de wijk. De energievraag is telkens afhankelijk van de typologie. Het gemiddeld gasverbruik voor een commerciële functie, een kantoor, een school en andere bedraagt respectievelijk $128 \text{ kWh/m}^2/\text{jaar}$, $128 \text{ kWh/m}^2/\text{jaar}$, $183 \text{ kWh/m}^2/\text{jaar}$ [61] en opnieuw $128 \text{ kWh/m}^2/\text{jaar}$ ⁶. [62] De behoefte sww is opvallend lager dan de residentiële functies. Voor de opgesomde typologieën schommelt het verbruik rond de 5L per persoon. Enkel voor de andere functies wordt een hogere behoefte sww ingeschat die in dezelfde lijn ligt als het residentieel verbruik. Een dansstudio of een sportzaal heeft een hoger verbruik van sww doordat deze infrastructuren gekoppeld zijn met een uitgebreid sanitair complex⁷. [63]

In de typologische variatie is het interessant om op zoek te gaan naar een algemene benadering die een duidelijk beeld geeft op de totale warmtebehoefte van de wijk. Aan de hand van een onderverdeling in bouwblokken en een telling wordt het aantal gebouwen van een bepaalde functie achterhaald. In Tabel 1 wordt de totale verwarmingsbehoefte van de acht bouwblokken weergegeven zonder dat er enige renovatiestrategie wordt toegepast. De totale behoefte sww wordt weergegeven in Tabel 2 en is onafhankelijk van de thermische schil van het gebouw. Deze waarde hangt louter af van het aantal bewoners en gebruikers van de gebouwen.

De totale verwarmingsbehoefte van de wijk wordt in Tabel 1 samengevat. De totale verwarmingsvraag bedraagt 50 418 823 kWh/jaar¹.

Om een correcte inschatting te maken voor de opwekkingssystemen, wat in een later hoofdstuk nog aan bod komt, is een omzetting naar een direct verbruik (in kW) noodzakelijk. Het aantal vollasturen wordt gebruikt om in te schatten hoe lang een installatie op volle kracht moet werken om de vraag te dekken. Een verwarmingsinstallatie draait immers niet 24h op 24h het hele jaar door. De totale behoefte in kWh/jaar wordt gedeeld door het aantal vollasturen, die functieafhankelijk zijn.

Zonder enige vorm van renovatie zou het verbruik van de wijk 32 662 kW bedragen. Deze waarde vormt de basis voor de berekening van de warmteopwekking.

Type	Totale behoefte voor verwarming [kWh/jaar]	Vollasturen [h] [64]	Energieverbruik [kW]
Residentieel	44 864 160	1 600	28 040,10
Commercieel	284 160	1 300	218,58
Kantoor	25 600	1 300	19,69
School	5 168 103	1 200	4 306,75
Andere	76 800	1 000	76,80
<i>Totaal</i>	<i>50 418 823</i>		<i>32 661,93</i>

Tabel 1: totale verwarmingsbehoefte van de wijk zonder ingrepen

Type	Totale behoefte sww [kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kW]
Residentieel	2 121 727,36	5 812,95
Commercieel	7 726,18	22,59
Kantoor	222,87	0,61
School	65 746,80	180,13
Andere	26 744,46	73,27
<i>Totaal</i>	<i>2 222 167,67</i>	<i>6 089,56</i>

Tabel 2: totale behoefte sanitair warm water

De uiteindelijke technische installaties moeten dus gedimensioneerd worden aan de hand van het verbruik zoals uitgewerkt in Tabel 1 en Tabel 2. Het verbruik ligt redelijk hoog. Een aangepaste renovatiestrategie is aangewezen om het verbruik op vlak van verwarming te laten afnemen. De thermische performantie verbetert van zodra er isolatie wordt toegevoegd in de gevel. Hierbij is het belangrijk om de architecturale kwaliteiten van de gebouwen in acht te nemen.

Het verbruik moet bij elke strategie in overeenstemming zijn met de opwekking zodat op elke moment van de dag, het hele jaar door, het binnenhuiscomfort gegarandeerd kan worden.

Renovatiestrategieën

Hoe lager het verbruik, hoe lager de opwekking en hoe kleiner de technische installaties gedimensioneerd moeten worden. Het is dus interessant om de warmtevraag van de bestaande situatie in te perken. In dit hoofdstuk worden er twee strategieën toegelicht:

De eerste strategie is gebaseerd op de renovatie van 19de-eeuwse gevels zoals vermeld in "De wijk". De thermische performantie van de woning wordt onderzocht zonder dat de architecturale kwaliteiten van de woning verloren gaan.

De tweede strategie wordt toegepast op woningen zonder historische waardevolle gevel. De afweging tussen architecturale kwaliteiten en thermische performantie is minder delicaat.

Eerste renovatiestrategie

Uit het vorige hoofdstuk bleek dat de energievraag voor verwarming en sww bijzonder hoog lag. Het gemiddelde verbruik per m^2 lag rond de 350 kWh/jaar. Dit komt overeen met een niet-gerenoveerde woning uit 1970. [59]

Om het gemiddelde verbruik per m^2 vloeroppervlak te laten dalen, moet de thermische schil performanter gemaakt worden. Isolatie toevoegen in de gevelvlakken en het dak is een must. Op die manier dalen de energieverliezen doorheen de gebouwschil en zal de energievraag uiteindelijk dalen.

Er kan een belangrijk onderscheid worden gemaakt op vlak van renovatiestrategieën. De typische 19de-eeuwse woonwijk bestaat uit enkele architecturale herenhuizen zoals reeds vermeld in "De wijk". Het toevoegen van isolatie in de voorgevel zonder verlies van de historische waarde is minder evident. Van buitenaf isoleren en vervolgens een parementsteen of pleisterlaag toevoegen is nadelig voor het architecturale uitzicht van de gevel. Bovendien is het aanbrengen van binnenisolatie niet vanzelfsprekend. Aan de binnenzijde van deze woningen zijn er architecturale hoogstandjes op te merken zoals moulures, plinten en lijsten. Toevoeging van isolatie zou betekenen dat dit ambachtswerk verloren zou gaan. Er bestaan, zoals ook gebruikt in "Godshuizen De Schipjes, Brugge", isolerende pleisters die de thermische prestatie positief beïnvloeden. Toch is dit geen ideale oplossing want de materialiteit, het uitzicht en de gelaagdheid gaat hierdoor verloren.

De 19de-eeuwse woning heeft een historisch waardevolle voorgevel, maar het dak, de achtergevel en de bijgebouwde volumes aan de achterzijde hebben geen gelijkaardige kwaliteiten. Een grondige renovatie is hier gemakkelijker toe te passen. In het dak worden er isolatiedekens tussen de spanten gestoken. De achtergevel en de bijgebouwen krijgen een isolerende schil aan de buitenzijde met pleisterlaag rechtstreeks op de isolatie, het zogenaamde ETICS systeem. [65] Een simpele en relatief eenvoudig uit te voeren strategie. De bewoners moeten niet uitwijken naar een ander verblijf gedurende de renovatie en het volume en de structuur worden amper aangetast.

Daarnaast hebben de gevels een groot glasoppervlak. De bestaande ramen zijn verouderd: enkele beglazing en een afgeleefd kader. De thermische prestatie laat ook te wensen over. Vervanging van de ramen kan zowel in voor- als achtergevel gebeuren zolang het architecturale uitzicht gegarandeerd kan worden. In deze renovatiestrategie wordt gekozen voor dubbel glas waardoor de U-waarde van het raam daalt¹. Het vernieuwde kader heeft door nieuwe technieken ook een hogere isolerende waarde².

De uiteindelijke verbetering op vlak van energieverbruik vergt een berekening voor elke individuele woning. Omdat deze benadering minder relevant is voor deze thesis, worden algemene energieverbruiken gebruikt die in overeenstemming zijn met de toegepaste renovatiestrategie: de gemiddelde energiebehoefte is te vergelijken met een woning uit 2006, net voor de invoering van EPB, en bedraagt 120 kWh/ m^2 /jaar. [59] De U-waarde van het glas bedraagt 2,5 W/ m^2K en de U-waarde van de gevel 0,6 W/ m^2K wat overeenkomt met circa 5 cm isolatie. Het dak zal met 8 cm isolatie een U-waarde van 0,4 W/ m^2K kunnen behalen. [59]

1 U-waarde is de warmtedoorgangscoefficiënt en geeft aan in welke mate een scheidingsconstructie geïsoleerd is. De U-waarde is afhankelijk van de dikte en de isolatiewaarde λ van het constructieonderdeel. Hoe lager de U-waarde, hoe beter de isolerende eigenschappen. [66]

2 De effectieve thermische verbetering van het raamkader is moeilijk in te schatten en zal enkel algemeen worden benaderd.

Een gemiddelde woning uit 2006 kan vergeleken worden met de eerste renovatiestrategie: de dakconstructie zal geïsoleerd worden met 10 cm isolatie. De isolerende kwaliteiten zijn dus beter dan de 8 cm die vooropgesteld wordt, gezien de U-waarde afhankelijk is van de dikte van de materialen. De achtergevel en de bijhorende bijgebouwen worden geïsoleerd met 12 cm EPS, dat is 1,4 keer meer isolatie dan aangegeven in de richtwaarde. De kelder zal ook met 12 cm EPS thermisch aangepakt worden. Ten slotte is het noodzakelijk om alle ramen te vervangen door een thermisch performanter alternatief: dubbele beglazing. De voorgevel kan dan gevrijwaard worden van enige ingreep om ongeveer hetzelfde energieverbruik per m² per jaar aan te nemen.

Voor de rijhuizen en de appartementen geldt nu een gemiddeld energieverbruik voor verwarming van 120 kWh/m²/jaar. [59] Voor een woning van 220 m² komt dit neer op een jaarlijkse behoefte van 26 400 kWh/jaar. Ten opzichte van de niet-geïsoleerde woning betekent dit een verbetering van 65,5%. Dezelfde trend is terug te vinden in een individueel appartement van 100 m². De verwarmingsbehoefte bedraagt nog 34 800 kWh/jaar¹.

Zowel de commerciële functies, kantoren, scholen als andere functies worden niet geïsoleerd. De focus van de thesis ligt op de renovatie van de 19de-eeuwse residentiële woningen.

De totale verwarmingsbehoefte van de wijk wordt in [Tabel 3] samengevat. De totale verwarmingsvraag in vergelijking met de huidige situatie daalt met 58,5 % naar 14 291 kWh. Door louter de woningen, het grootste deel van de wijk, aan te pakken is er een significante daling op te merken.

Type	Totale behoefte voor verwarming [kWh/jaar]	Vollasturen [h] [64]	Energieverbruik [kW]
Residentieel	15 470 400	1 600	9 669
Commercieel	284 160	1 300	218,58
Kantoor	25 600	1 300	19,69
School	5 168 103	1 200	4 306,75
Andere	76 800	1 000	76,80
<i>Totaal</i>	<i>21 025 063</i>		<i>14 290,83</i>

Tabel 3: totale verwarmingsbehoefte indien de eerste renovatiestrategie wordt toegepast

De verwarmingsbehoefte voor sww blijft gelijk voor elke functie in deze renovatiestrategie. [Tabel 2]. Het dagelijkse verbruik is onafhankelijk van de thermische performantie van de woning. Deze waarde van 2,44 kWh per persoon per dag voor residentiële functies is louter afhankelijk van het aantal bewoners en de temperatuursstijging van het water².

Tweede renovatiestrategie

Een tweede renovatiestrategie vertrekt uit van een woning zonder historisch waardevolle gevel. Het gaat hierbij over gebouwen zonder uitgesproken gevelbeeld. Erkers, kroonlijsten, plinten en dieptewerking ontbreken in dergelijke woningen. De binnenzijde wordt gekenmerkt door vlakke muren zonder moulures en plinten.

Het aanbrengen van isolatie om een thermische schil te creëren kan ook gebeuren aan de voorgevel. Deze strategie heeft dus een volledig doorlopende thermische schil: voorgevel, dak, vloer, achtergevel, achterbouw en kelder worden volledig geïsoleerd. In het dak wordt 10 cm glaswol aangebracht. In de voor- en achtergevel wordt 12 cm EPS aangebracht. De kelder krijgt dezelfde behandeling als in de eerste renovatiestrategie: 12 cm EPS afgewerkt met pleister. Omdat de ramen een groot deel van de scheidingsconstructie vormen, zullen deze elementen ten slotte ook vervangen moeten worden.

De energiebehoefte van een niet-architecturale woning wordt benaderd door een verwarmingsbehoefte van maximaal 70 kWh/m²/jaar. Dit komt overeen met een gemiddeld verbruik van een woning uit 2014 waarbij de volledige gevel met ongeveer 12 cm isolatie is ingepakt. [59] In vergelijking met de niet-geïsoleerde beginsituatie kan de energiebehoefte met maar liefst 79,8% worden gereduceerd.

Omdat de verwarmingsbehoefte voor de residentiële functies daalt tot 70 kWh/m²/jaar [59], zal ook het totale cijfer van de wijk veranderen. Voor een rijhuis van 220 m² geldt, in deze renovatiestrategie, een energieverbruik voor verwarming van 15 400 kWh/jaar. Een appartement van 100 m² zal uiteindelijk een gemiddeld verbruik van 7 000 kWh/jaar optekenen¹.

De totale verwarmingsbehoefte van de wijk wordt in Tabel 4 samengevat. De totale verwarmingsvraag daalt in vergelijking van de huidige situatie met 68,6 % naar 10.262 kWh in. Door louter de woningen, het grootste deel van de wijk, aan te pakken is er een significante daling op te merken.

Type	Totale behoefte voor verwarming [kWh/jaar]	Vollasturen [h] [64]	Energieverbruik [kW]
Residentieel	9 024 400	1 600	5 640,25
Commercieel	284 160	1 300	218,58
Kantoor	25 600	1 300	19,69
School	5 168 103	1 200	4 306,75
Andere	76 800	1 000	76,80
<i>Totaal</i>	<i>14 579 063</i>		<i>10 262,08</i>

Tabel 4: totale verwarmingsbehoefte indien de tweede renovatiestrategie wordt toegepast

De verwarmingsbehoefte voor sww blijft gelijk voor elke functie in deze renovatiestrategie. [Tabel 2] Het dagelijkse verbruik is onafhankelijk van de preformantie van de woning. Deze waarde van 2,44 kWh per persoon per dag voor residentiële functies is louter afhankelijk van het aantal bewoners en de temperatuursstijging van het water².

Om meer vat te krijgen op de huidige situatie, de eerste en de tweede renovatiestrategie worden, twee gebouwen uitgelicht. Het gaat hierbij om een 19de-eeuwse rijwoning in de Pastorijstraat en een appartementencomplex in de Pothoekstraat.

In de Pastorijstraat, op nummer 29, staat een architecturaal hoogstaande 19de-eeuwse gevel. Om de architecturale kwaliteiten niet te verliezen, is de eerste renovatiestrategie aangeraden. Het vrijwaren van de voorgevel van enige interventie, met uitzondering van het schrijnwerk, creëert een matig geïsoleerde woning. Hiervoor is het noodzakelijk om de achtergevel en de achterbouw voldoende te isoleren. De kelder en de vloer op volle grond wordt ook meegenomen in de thermische schil. Het dak kan eenvoudig thermisch performant gemaakt worden door isolatiedekens tussen de spanten te plaatsen. Het geheel van schrijnwerk wordt vervangen door een dubbele beglazing zonder het globale beeld te wijzigen.

Om een mooi afgewerkt geheel te creëren, worden verschillende afwerkingsmaterialen uitgekozen. Deze basismaterialen zijn eenvoudig te appliceren: voor de achtergevel wordt gekozen voor een ETICS-systeem¹ waarbij de isolatie een pleisterlaag als afwerking krijgt. In de kelder krijgen de muren ook een pleisterlaag als afwerking. Alle vloeren, zowel op volle grond, als in de kelder worden afgewerkt met een standaard keramische tegel².

Ten slotte is er, als optie, gelinkt aan de positieve invloeden van een groendak zoals besproken in "Groendaken", een lichte daktuin weergegeven op het platte dak. De toepassing van een begroend dak is afhankelijk van de draagstructuur van de bestaande woning. Een extensief groendak kan normaal gezien steeds worden toegepast, maar voor een (lichte) daktuin is er een nazichtsberekening vereist. Indien de daktuin kan worden toegepast, verhoogd het zowel het thermisch als akoestisch comfort en vergroot het de diversiteit in de hele wijk.

In de Pothoekstraat, op nummer 13-15, staat een typisch appartementencomplex van acht appartementen. De voorgevel dateert van een latere periode dan de voorgevel uit de Pastorijstraat en heeft minder architecturale en historische kwaliteiten. De tweede renovatiestrategie kan hier worden toegepast. Zowel voor- als achtergevel worden geïsoleerd met eenzelfde dikte van isolatie. Aan de voorzijde wordt binnenisolatie toegepast omdat een toenemende dikte aan de buitenzijde van de voorgevel niet mogelijk is door stedenbouwkundige voorschriften inzake rooilijnen. Het globale beeld blijft bovendien behouden.

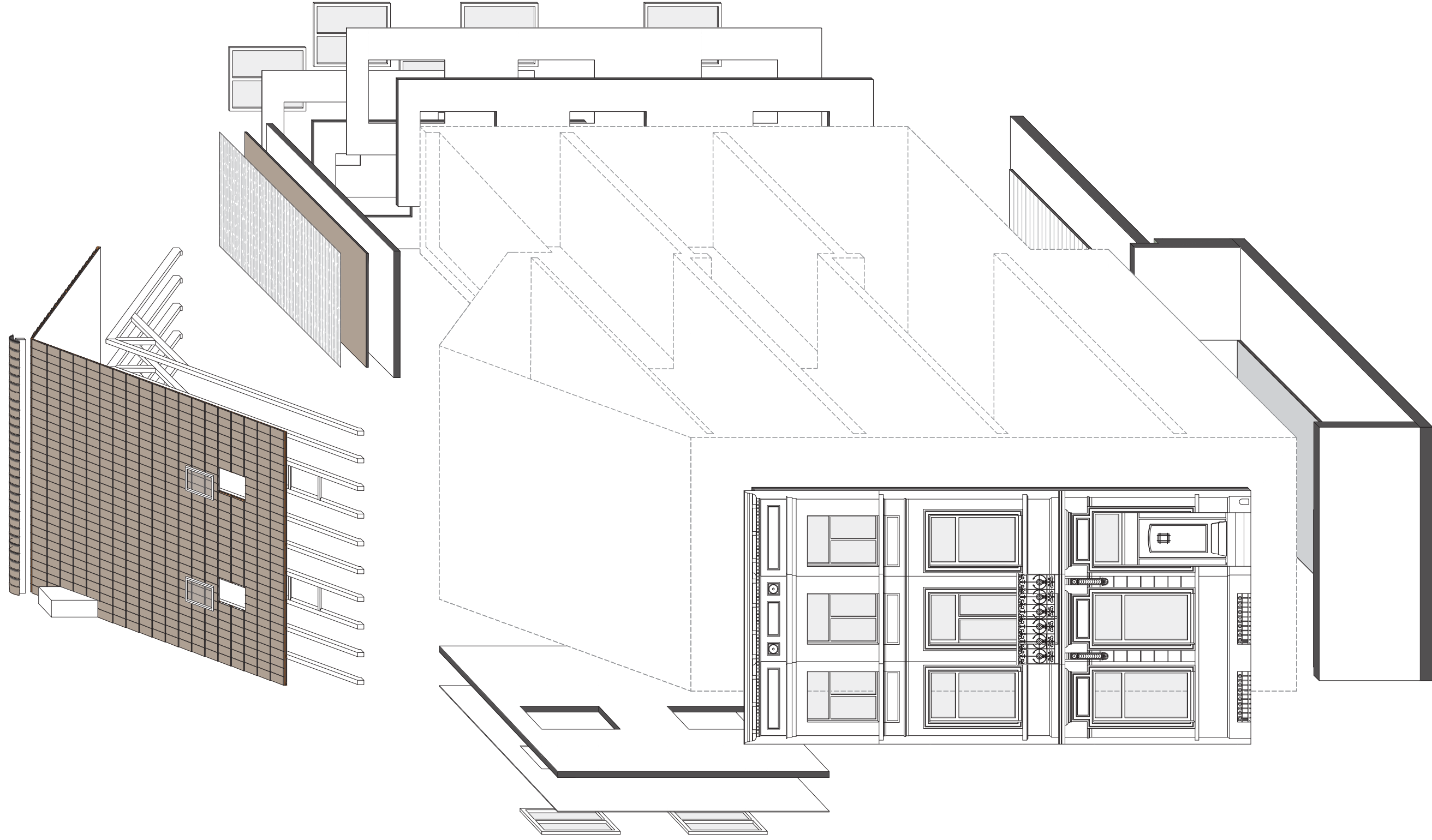
Qua afwerkingsmaterialen is ook hier gekozen voor pleisterwerk. Het systeem van ETICS wordt ook hier toegepast. Ook voor de vloer op volle grond en de kelder wordt geopteerd voor dezelfde afwerkingsmaterialen.

Ter vervollediging ligt ook de optie van een lichte daktuin nog op tafel. Verder structureel onderzoek is noodzakelijk om de draagkracht van de bestaande structuur te verifiëren. Indien de bijkomende belasting toelaatbaar is, is een groendak aan te raden gezien de vele voordelen. Doordat onderhoud noodzakelijk is voor een begroend dak, dient de tuin ook veilig betreedbaar te zijn.

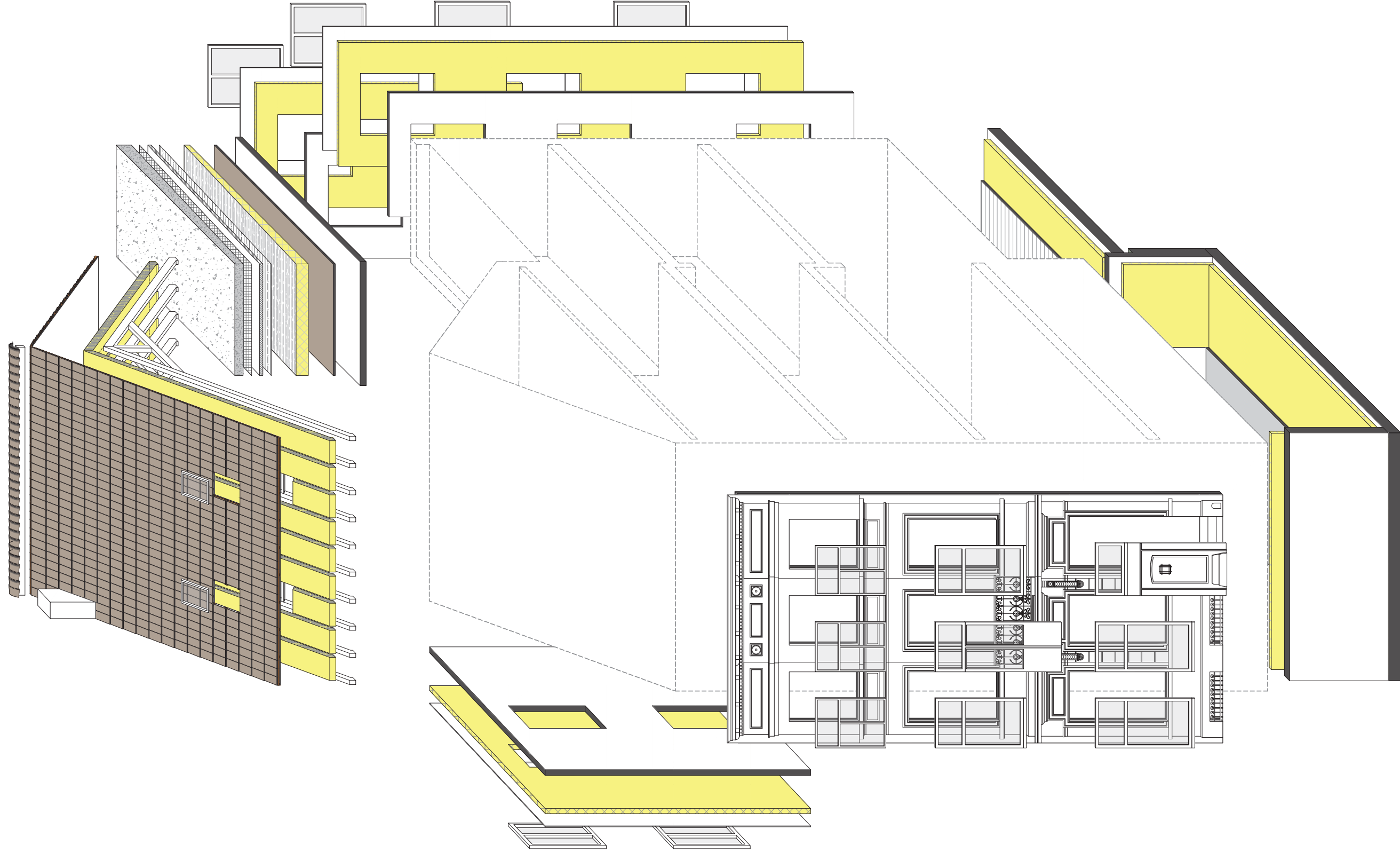
De aanpassingen worden duidelijk in beeld gebracht in de volgende tekeningen:

1 ETICS-gevels worden toegelicht in TV 257 van het wtcb. Het toevoegen van een pleisterlaag op de isolatie creëert een weerbestendige barrière [65].

2 Er wordt gekozen voor simpele basismaterialen die eenvoudig te verkrijgen zijn.



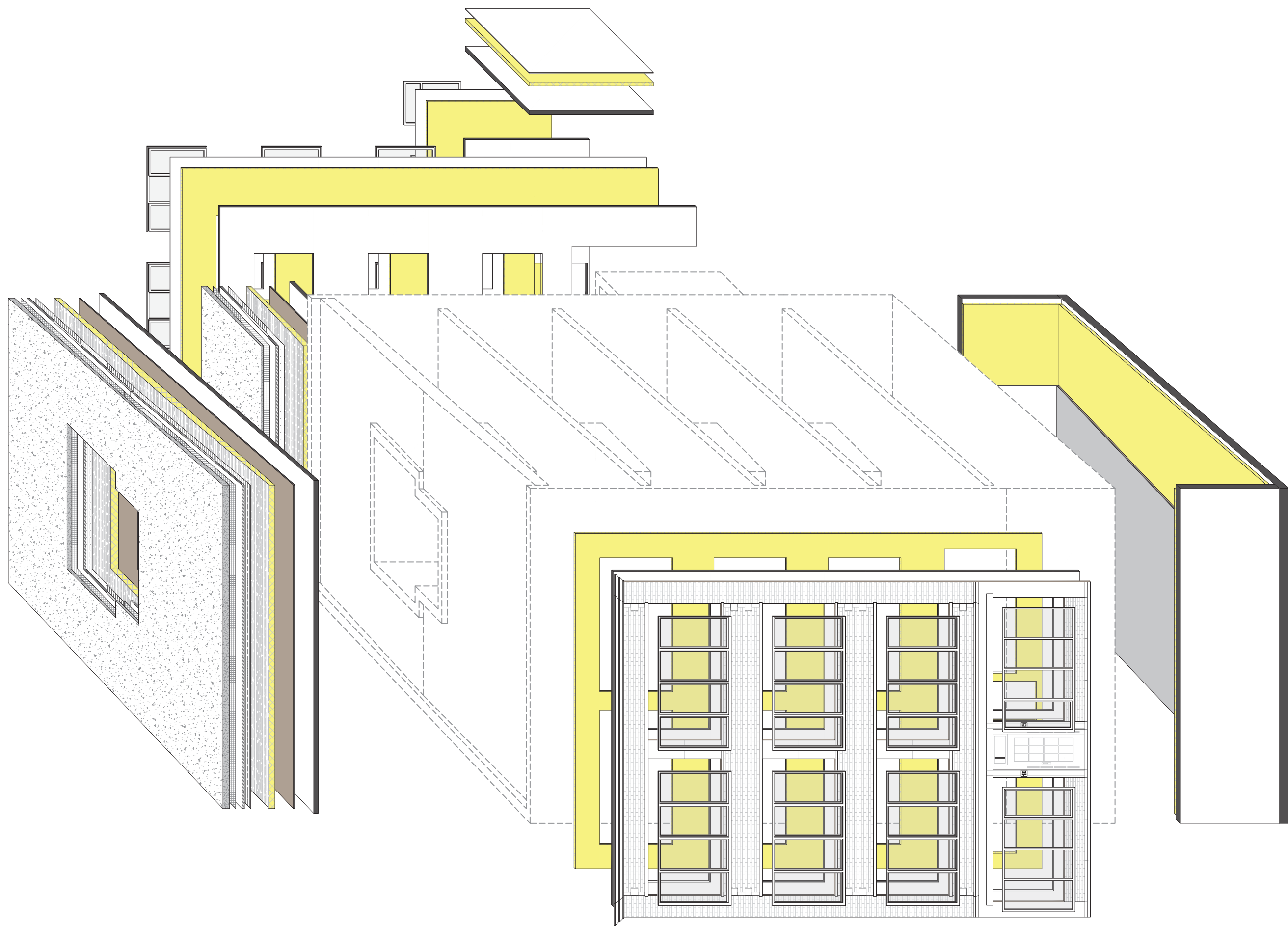
Tekening 6: axonometrie van de bestaande situatie, Pastorijstraat 29



Tekening 7: axonometrie na eerste renovatiestrategie, Pastorijstraat 29



Tekening 8: axonometrie van de bestaande situatie, Pothoekstraat 13-15



Tekening 9: axonometria na tweede renovatiestrategie, Pothoekstraat 13-15

Warmtenet

Inleiding

Nadat het verbruik van de wijk bekend is, kan de duurzame opwekking van de warmtevraag voor verwarming en sww worden bepaald. Onder de noemer van opwekking vallen verschillende termen: de warmteproductie, -opslag en -distributie. In de huidige situatie gebeurt de opwekking nog in iedere individuele unit aan de hand van een gascondensatieketel. De overstap op wijkniveau impliceert een schaalvergroting waardoor collectieve systemen een mogelijkheid bieden. In de verschillende referentieprojecten wordt een warmtenet vaak aangehaald, meestal gekoppeld aan een nieuwe wijk. De bestaande onderlegger (nederzettingspatroon, "Klimaatwijken") creëert enkele randvoorwaarden.

Er zijn enkele opvallende verschillen op te merken tussen de gekozen wijk en de referenties:

Eerst en vooral heeft het warmtenet een voedingsbron nodig. Rest- of residuele warmte wordt vaak ingezet om het thermisch net te voeden. Helaas zijn er in de directe omgeving (straal < 5 km) geen warmteoverschotten van bijvoorbeeld industrie te vinden. Hierdoor zal, om het warmtenet zo duurzaam mogelijk te laten werken, een duurzame energiebron aangesproken worden. Zonne-energie is steeds voorhanden. Thermische zonnepanelen kunnen overal geplaatst worden, ook in een dense stadsomgeving, zolang de oriëntatie en bezonning het toelaten. Zuid of zuidwest gerichte daken zijn de meest ideale scenario's. Een plat dak is georiënteerd naar alle windrichtingen en biedt de beste mogelijkheden. De zonnewinsten kunnen ook gecombineerd worden met geothermische bronnen waardoor opslag mogelijk wordt.

Windenergie in een drukke stadswijk is geen optie.

Momenteel zijn er naast thermische zonnepanelen ook PVT-panelen op de markt. [Technische fiche 1] Deze hybride zonnepanelen combineren het beste van beide werelden: opwekking van warmte en elektriciteit. PVT-panelen benutten het dakoppervlak efficiënt. De energieopbrengst is logischerwijze hoger omdat zowel warmte als elektriciteit wordt opgewekt.

Ten tweede werken de warmtenetten uit de voorbeelden op (relatief) hoge temperatuur. De restwarmte is in de meeste gevallen afkomstig van grote industrieën zoals verbrandingscentrales en kan op hoge temperatuur verdeeld worden doorheen de wijk. Door het gebruik van de warmte van PVT-panelen kan een hoge temperatuur, bijvoorbeeld 160°C in het warmtenet van Wenen, niet worden nagestreefd. Een lage temperatuur van 35 °C kan wel bereikt worden door de toepassing van zonne-energie¹.

Ten slotte creëert een bestaande stadswijk een aantal randvoorwaarden. De integratie van een warmtenet in een bestaande context moet rekening houden met bestaande stratenpatronen, ondergrondse leidingen en andere structuren zoals funderingen. De aansluiting met de bestaande woningen vergt verder de nodige aandacht.

Vooraleer dieper in te gaan op de precieze dimensies van de technische installaties is het belangrijk om te begrijpen welke elementen allemaal noodzakelijk zijn. Daarna kan uiteindelijk de overstap naar de dimensionering en de integratie gemaakt worden.

¹ Op zonnige dagen kan de temperatuur in de PVT-panelen oplopen tot 45°C à 60 °C. [68]

Hydraulisch schema

Het hydraulisch schema¹ geeft beter zicht op het globale beeld van een warmtenet. [Tekening 10] Hierbij komen de productie, de opslag en de distributie van warmte aan bod. Het schema geeft een indicatie welke technische installaties noodzakelijk zijn zonder dat ze reeds gedimensioneerd zijn of er sprake is van integratie.

Zoals besproken in het vorige hoofdstuk worden PVT-panelen gebruikt om warmte te produceren. De panelen hebben de grootste warmteopbrengst in de lente- en zomermaanden, maar de warmtevraag staat dan tevens op het laagste peil. In de wintermaanden stijgt de warmtevraag naar zijn maximale waarde, maar zijn de dagen het kortst en somberst. De warmteopwekking daalt naar een laag pitje. Dat impliceert een seizoensshift waardoor er nood is aan warmteopslag.

De warmteproductie in de lente en zomer wordt opgeslagen in de grond. Er zijn twee standaard mogelijkheden voorhanden: open en gesloten geothermische systemen. Een BEO-veld wisselt energie uit met de ondergrond via een gesloten systeem van warmtewisselaars. Verticale boringen worden het meest toegepast in Vlaanderen. Ondiepe boringen kunnen een maximale diepte van 500 m bereiken. Voor dit systeem is een uitgebreid boorveld noodzakelijk. Een open geothermische toepassing onttrekt grondwater uit ondergrondse lagen. Via energie-uitwisseling bovengronds wordt het grondwater terug in de ondergrond geïnjecteerd. Deze toepassing is in de volksmond gekend als KWO en is minder toepasbaar omdat de ondergrondse stromen erg van de locatie afhangen. Voor KWO is een beperkt aantal bronnenparen nodig om voldoende energie te kunnen leveren. [69]

Een KWO aanleggen vereist een grondig onderzoek door ervaren bedrijven. Gezien het thema van deze masterproef, is dit minder relevant en bovendien is er een tweede toepassing voorhanden. De aanleg van een BEO-veld kan ingezet worden om warmte op te slaan in de zomermaanden om vervolgens te onttrekken in de winter. Het aantal boringen is afhankelijk van het energieverbruik van de wijk.

De opgeslagen warmte wordt onttrokken in de winter. Deze temperatuur schommelt rond de 12-14°C, waardes die te laag zijn om alle gebouwen te voorzien van verwarming en sww. De integratie van een bodem/water-warmtepomp is een duurzame oplossing om een temperatuur van 35 °C op te wekken in het warmtenet. De warmtepomp vormt de schakel tussen het BEO-veld en het warmtenet. Een grond/water-warmtepomp gebruikt de constante grondtemperatuur, in vergelijking met een schommelende buitentemperatuur, om de noodzakelijk temperatuur in het warmtenet op te wekken. De constante waarden zorgen voor een stabiel rendement.

De volgende elementen in de cyclus zijn de buffervaten. Deze vaten vormen, zoals het woord het al verklapt, een buffer op korte termijn. Indien een woning nood aan verwarming heeft en zijn thermostaat zou aanzetten, moet er direct warm water doorheen de eindelementen stromen. Zo blijft het comfort binnenshuis steeds bewaard. De warmtepomp heeft tijd nodig om het warmtenet op temperatuur te brengen, namelijk 35°C. Daarom wordt er een buffervat in het thermisch net geschakeld. Dit thermisch geïsoleerd vat slaat voldoende warm water op en van zodra de vraag naar verwarming stijgt, zal het warm water van de buffervaten doorheen het net stromen. Indien de temperatuur van de buffervaten vervolgens verlaagd onder een bepaalde drempelwaarde zal de warmtepomp uiteindelijk aanspringen om het water verder op te warmen.

¹ Het hydraulisch schema is slechts een aanzet en kan verder nog geoptimaliseerd worden om zo efficiënt mogelijk ingezet te worden.

Het warmtenet staat in voor de distributie van het opgewarmde water en is op Tekening 10 de verbinding tussen de buffervaten en de eidelementen die zich in de woningen bevinden. De eidelementen van de woningen zijn minder goed in te schatten. Indien de radiatoren of convectoren op hoge temperatuur werken, gaan ze hoogstwaarschijnlijk anders gedimensioneerd moeten worden om eenzelfde ruimte met lage temperatuursverwarming te verwarmen

Ten slotte heeft elke individuele woning ook nog nood aan sww. De lage temperatuur van het warmtenet is niet voldoende om het sww op 60°C te brengen. 60°C wordt als minimumwaarde gezien om sww legionellavrij te maken.

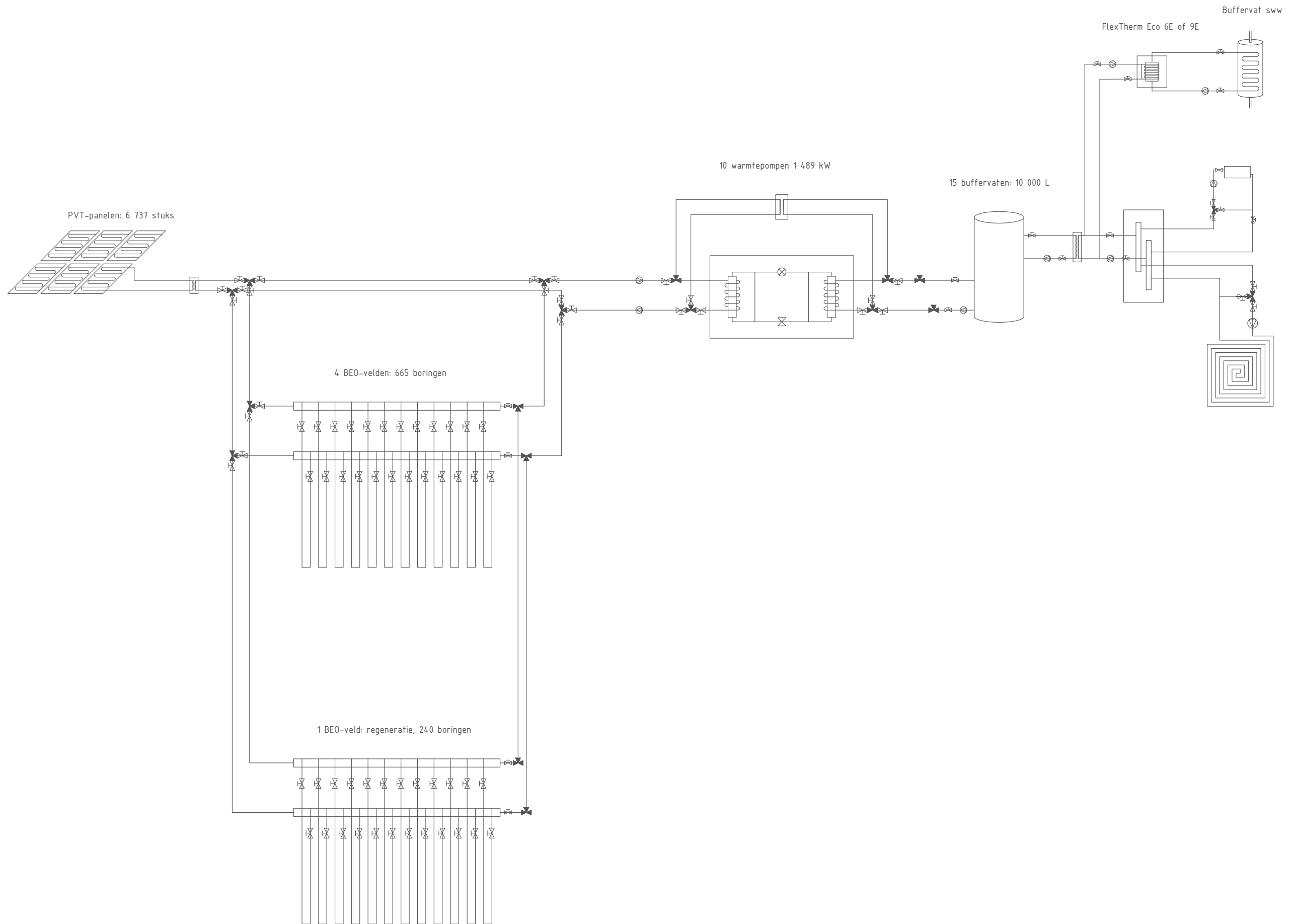
Legionella is een bacterie die in drinkwater voorkomt en longproblemen kan veroorzaken. De bacterie is vooral gevaarlijk wanneer het water vernevelt, bijvoorbeeld in doucheruimtes. Dan komt legionella namelijk in de longblaasjes terecht en kan zelf fataal zijn. De kiem groeit in water met een temperatuur tussen 20°C en 50°C. Onder 20°C zal de kiem zich niet vermenigvuldigen. Om de bacterie af te remmen zijn temperaturen van de 55°, daarom de drempel van 60°C, noodzakelijk. Er bestaan wettelijk limieten op de concentratie legionella in het Vlaamse sww. Daarom is het noodzakelijk om de streefwaarde van 60°C te halen vooraleer het sww gebruikt wordt. [67]

Via een compact toestel, FlexTherm Eco, wordt de minimale temperatuur voor sww bereikt. [Technische fiche 2] Het toestel zet elektriciteit om in warmte om het sww op temperatuur te brengen. PV-panelen, of PVT-panelen kunnen hiervoor ingezet worden. Deze batterij maakt gebruik van een PCM² dat via een elektrische spiraal tot 70°C wordt opgewarmd. Het zout (de PCM) is dan vloeibaar. Wanneer er vraag is naar sww zal het zout afkoelen doordat het zijn warmte afgeeft aan de met water gevulde warmtewisselaars. Het warm tapwater wordt zo gegenereerd. Het apparaat wordt in elke individuele woning geplaatst.

Bovendien is een buffervat voor sww aan onmisbaar. Hier geldt Hetzelfde principe als bij de verwarming. Omdat de FlexTherm Eco tijd nodig heeft om het water op een juiste temperatuur te krijgen, is een buffer noodzakelijk om het comfort te garanderen. De FlexTherm zal aanspringen van zodra de vraag naar sww stijgt en de temperatuur van het buffervat tot onder een ingestelde temperatuur is gezakt. Bijgevolg zijn de vaten individueel voorzien in elke woning.

De dimensionering en de integratie van de verschillende technische componenten vormen de hoeksteen voor het warmtenet.

² een PCM ofwel phase changing materials worden ingezet om warmte op te slaan en af te geven. Bij een bepaalde temperatuur zal het materiaal smelten door warmte op te nemen. Tijdens het smelten neemt het materiaal warmte op vanuit de omgeving. Vervolgens zal de temperatuur weer dalen en het materiaal zal stollen. De warmte komt opnieuw vrij. In geïsoleerde buffers kunnen PCM's gebruikt worden om warmte op een later moment te gebruiken. Het omgekeerde kan ook worden toegepast: opslag van koude [70].



Tekening 10: hydraulisch schema

Dimensionering technische installaties

De collectieve technische installaties moeten correct gedimensioneerd worden om te kunnen voldoen aan het verbruik van de wijk. Het basisscenario gaat uit van de eerste renovatiestrategie waarbij de architecturale gevels gevrijwaard blijven van enige interventie. De woningen of appartementen met een historisch waardevolle gevel hebben, zoals vermeld in "Renovatiestrategieën", een maximaal energieverbruik voor verwarming van 120 kWh/m²/jaar. [59] Het uiteindelijk verbruik van de volledige wijk staat nogmaals samengevat in Tabel 5¹.

Type	Totale behoefte voor verwarming [kWh/jaar]	Vollasturen [h] [64]	Energieverbruik [kW]
Residentieel	15 470 400	1 600	9 669
Commercieel	284 160	1 300	218,58
Kantoor	25 600	1 300	19,69
School	5 168 103	1 200	4 306,75
Andere	76 800	1 000	76,80
<i>Totaal</i>	<i>21 025 063</i>		<i>14 290,83</i>

Tabel 5: totale verwarmingsbehoefte indien de eerste renovatiestrategie wordt toegepast

Tabel 5 toont dat er minstens 14 291 kW warmte moeten worden opgewekt om de volledige wijk van het nodig comfort te voorzien. De uiteindelijke opwekking bedraagt 14 545 kW. [Tabel 7] Deze kleine stijging is te wijten aan de opwekking van sww.

Zoals voordien vermeld, wordt in de residentiële gebouwen een FlexTherm Eco voorzien voor sww. In de productfiche [Technische fiche 2] staat vermeld dat de batterij 2,5h nodig heeft om volledig op te warmen. De PVT-panelen worden in eerste instantie ingezet om die warmte op te wekken, maar gedurende de wintermaanden zijn er verschillende dagen waarop de zon geen 2,5h zal schijnen. Hiervoor is er dus een back-up nodig. Dit kan simpelweg door de batterij aan te sluiten op netstroom, maar er bestaat nog een tweede manier.

Het warmtenet kan ook, traag, de behoefte inlossen. Er is nog steeds een temperatuurstijging nodig van 35°C. Voor 60L water (voor één persoon) betekent dit een behoefte van 2,44 kWh per dag. Het net levert de warmte. Het vermogen kan traag en continu worden aangeleverd door de aanwezige PCM in de batterij waardoor de dagelijkse behoefte door 24h kan gedeeld worden. In een residentiële woning betekent dit een energieverbruik van 0,10 kW per dag per persoon. Deze waarde geldt als basis om het vermogen van het warmtenet bij te schaven tot 14 545 kW.

In de volgende samenvattende tabel komen de verschillende waarden samen:

Type	Dagelijkse behoefte voor sww per unit [kWh]	Opwekking door FlexTherm [kWh]	Aantal units [-]	Opwekking door het net [kW]	Behoefte voor sww [kWh/jaar]
Rijhuis	9,77	9,77	496	201,91	445 809,43
Appartement	4,88	4,88	198	40,30	88 982,12
Commercieel	0,61	0,61	37	0,94	2 078,50
Kantoor	0,61	0,61	1	0,03	56,18
Sint-Jozef	43,15	43,15	1	1,80	3 969,74
Stedelijk Lyceum	75,71	74,75	1	3,15	6 965,77
Sint-Maria	61,26	61,26	1	2,55	5 636,28
Andere	24,42	24,42	1	3,05	6 741,07
<i>Totaal</i>	<i>220,43</i>			<i>253,73</i>	<i>560 239,09</i>

Tabel 6: opwekking sww afhankelijk van het type gebouw

De dagelijkse behoefte sww voor een rijwoning met vier bewoners bedraagt 9,77 kWh. Gedurende de dagen met voldoende zon kan de FlexTherm de vraag dekken door gebruik te maken van de opgewekte elektriciteit door de PVT-panelen. Op sombere winterdagen moet de opwekking van sanitair warm water geregeld worden door het net. Zoals reeds vermeld kan dit door de aanwezigheid van PCM gebeuren in de batterij.

Voor alle gebouwen wordt de FlexTherm Eco ingezet. De batterij heeft drie varianten: 3E, 6E en 9E die respectievelijk 3,5 kWh, 7,0 kWh en 10,5 kWh opslagcapaciteit hebben. Voor de residentiële gebouwen, de commerciële functies en de kantoren is er telkens maar één toestel nodig. Voor de scholen en de andere functies zijn er verschillende toestellen nodig.

Indien de zon niet voldoende schijnt, zal het netwerk via de FlexTherm Eco voldoende warmte leveren om de batterij op te warmen.

De dagelijkse behoefte kan dan gedeeld worden door 24h en vermenigvuldigd worden met het aantal units om de directe opwekking te bekomen, zoals weergegeven in de vijfde kolom van Tabel 6. Voor de wijk is er 253,73 kW vermogen extra nodig de nood aan sww op sombere dagen op te vangen.

Gemiddeld genomen zijn er drie maanden in het jaar waarop de zon minder dan 2,5h/dag schijnt. [71] November, december en januari zijn de somberste maanden van het jaar. Het gaat in totaal dus over 92 dagen met minder uren zon die noodzakelijk zijn om de PCM in de FlexTherm Eco op temperatuur te brengen. De dagelijkse behoefte kan dus worden omgezet naar een jaarlijks behoefte door de vijfde kolom in Tabel 6 te vermenigvuldigen met 24 uren en 92 dagen om de totale waarde te bekomen.

Het totale jaarlijkse verbruik, zowel voor verwarming als sww, bedraagt dus 21 585 302 kWh/jaar. [Tabel 7]

De volgende overzichtstabel vormt de basis voor de opwekking:

	Totale jaarlijkse behoefte [kWh/jaar]	Totaal verbruik [kW]
Verwarming	21 025 063	14 290,83
Sanitair warm water	560 239,09	253,73
<i>Totaal</i>	<i>21 585 302,09</i>	<i>14 544,56</i>

Tabel 7: warmteverbruik van de volledige wijk

De opwekking moet afgestemd worden op het totale verbruik: 14 544,56 kW. De grond/water-warmtepomp moet deze waarde volledig dekken. Via technische fiches kan het vermogen van een warmtepomp worden afgeleid en het juiste type gekozen worden. Voor een werkingstemperatuur van 35°C kan de VITOCAL type BW 352 AS1190SAH een vermogen halen van 1 489 kW. [Technische fiche 3] Dat betekent dat er tien dezelfde toestellen nodig zijn om het verbruik te kunnen dekken. Het samengetelde vermogen bedraagt 14 890 kW.

Vervolgens zijn verschillende buffervaten nodig. De vuistregel die wordt meegegeven voor het bepalen van de inhoud, is het vermogen van de warmtepomp vermenigvuldigen met 10 à 15. [72] Dit impliceert een vat met een inhoud tussen de 145 000L en 217 500L. Er zijn buffervaten op de markt met een inhoud van 10 000L waarvan er dus 15 stuks van nodig zijn. InterClima heeft een geïsoleerd model op de markt gebracht: PVRE 10 000. [Technische fiche 4]

Vervolgens moet een voldoende groot aantal grondboringen worden voorzien. De totale jaarlijkse behoefte (verwarming en sww) moet volledig gedekt kunnen worden door het BEO-veld. De warmte-extractie in de grond is afhankelijk van de verschillende grondlagen in de grond. De waarde schommelt tussen de 40 W/m en 65 W/m. [73] Voor één boring van 500m kan uiteindelijk 27 200 W worden geëxtraheerd. Rekening houdend met het gewogen gemiddelde aantal vollasturen van de verschillende functies [Tabel 5], namelijk 1 500h, betekent dit een warmte-extractie van 32 640 kWh/jaar/boring. In deze waarde is rekening gehouden met een verliesfactor van 20%. Het aantal boringen kan uiteindelijk bepaald worden door de totale jaarlijkse behoefte te delen door de jaarlijkse warmte-extractie van één boring. Voor deze toepassing zijn 661,31 boringen, afgerond 665 boringen, nodig¹.

Ten slotte hebben de PVT-panelen ook een belangrijk doel in het gehele plaatje. Indien de BEO-velden elk jaar opnieuw worden gebruikt om warmte te onttrekken zal de grond na een tijd uitgeput geraken. De ondergrond zal dus jaarlijks opnieuw opgewarmd moeten worden. Hiervoor kan de zonnewarmte gebruikt worden. Eén PVT-paneel heeft een verwarmingsvermogen van 1 028 kWh/jaar. Indien het aantal panelen gekend is, kan evident het totale vermogen bepaald worden en dus ook hoeveel warmte elk jaar in de grond wordt opgeslagen.

Niet alle daken laten het toe om evenveel panelen te plaatsen. Sommige daken hebben geen juiste bezonning of liggen volledig in de schaduw van hun buur. Via een ruime schatting kunnen er 10 PVT-panelen per woning geplaatst worden. Daarnaast zijn er ook verschillende grotere volumes in de wijk op te merken: drie scholen, Jan Fabre/Troubleyn en de Sint-Willibrorduskerk. Uiteindelijk kunnen er 6 737 PVT-panelen geplaatst worden op alle dakvlakken².

Het geheel van PVT-panelen kan uiteindelijk 6 925 636 kWh/jaar opwekken. Die warmte wordt in de grond opgeslagen. Maar in vergelijking met de warmte-extractie wordt slechts 32% geregenereerd. De grond herstelt zelf ook een deel gedurende het zomerseizoen, maar de verhouding 80/20¹ is hier volledig in onbalans. Er is dus een andere manier noodzakelijk om de grond te regenereren.

Een extra BEO-veld kan hierbij helpen. Een extra BEO-veld creëert een pauze voor een ander veld, waardoor het zichzelf kan herstellen. Afhankelijk van de grootte van het extra veld en de verdeling van 665 grondboringen kan jaarlijks, tweejaarlijks of driejaarlijks elk veld rusten. Stel dat het "rustveld" 665 boringen groot is en er één groot veld van 665 boringen kan worden geïntegreerd, dan kan het veld om het jaar rusten en zichzelf herstellen. Indien er bijvoorbeeld drie even grote BEO-velden van 240 boringen worden gecreëerd en het "rustveld" ook 240 boringen groot is, dan kan elk veld om de drie jaren zichzelf volledig opladen.

Als voetnoot is het nog belangrijk om het elektriciteitsvraagstuk aan te halen. De grond/water-warmtepompen werken op elektriciteit, net als de FlexTherm Eco. De PVT kunnen 1 717 935 kWh/jaar opwekken en dit kan duurzaam ingezet worden om deze systemen te laten draaien. Eventueel kan er ook gekeken worden naar een batterijsysteem waarbij de elektriciteit opgeslagen wordt en volledig rendabel ingezet wordt op andere momenten. Zo draaien de technische installaties op een duurzame wijze. Indien de opwekking te laag is, kan netstroom worden aangesproken.

Deze masterproef focust niet op deze toepassing, maar haalt enkel aan dat er mogelijkheden zijn. Een korte berekening geeft een overzicht van het elektrisch verwarmingsvermogen. [Tabel 8] Hieruit blijkt dat slechts 31,32% van het nodige vermogen kan worden opgewekt met het huidige aantal panelen. En dit cijfer is enkel van toepassing indien de opgewekte energie 100% rendabel wordt ingezet. In principe kan 91% van de gezinnen zonder netstroom te gebruiken sww opwekken. De andere 9% en de warmtepomp zal aangesloten worden op netstroom.

	Opgenomen elektrisch vermogen [kWh]	Vollasturen [h]	Totale jaarlijks opgenomen vermogen [kWh/jaar]
FlexTherm Eco	2,8	912,5	1 885 590
Grond/water-warmtepomp	240	1500	3 600 000
<i>Totaal</i>			5 485 590

Tabel 8: elektrisch vermogen warmtepomp en FlexTherm Eco

De dimensionering is sterk afhankelijk van de warmtevraag van de wijk. Zou het mogelijk zijn om een warmtenet te integreren in de wijk indien er geen renovatiestrategie wordt toegepast? En wat wijzigt indien de tweede renovatiestrategie wordt gekozen?

In Tabel 9 staat nogmaals het verbruik voor verwarming indien geen enkel residentieel gebouwen wordt gerenoveerd.

Type	Totale behoefte voor verwarming [kWh/jaar]	Vollasturen [h] [64]	Energieverbruik [kW]
Residentieel	44 864 160	1 600	28 040,10
Commercieel	284 160	1 300	218,58
Kantoor	25 600	1 300	19,69
School	5 168 103	1 200	4 306,75
Andere	76 800	1 000	76,80
<i>Totaal</i>	<i>50 418 823</i>		<i>32 661,93</i>

Tabel 9: totale verwarmingsbehoefte van de wijk zonder ingrepen

In deze situatie zou er uiteindelijk 32 916 kW aan warmte moeten worden opgewekt om de volledige wijk een voldoende hoog comfort te garanderen. In deze waarde zit zowel de totale verwarmingsvraag als het verbruik van sww op sombere winterdagen. Indien dezelfde warmtepomp (VITOCAL type BW 352 AS1190SAH) op hetzelfde regime zou werken, zijn er maar liefst 23 grond/water-warmtepompen nodig met een vermogen van 1 489 kW om aan de vraag te kunnen voldoen. Dat is maar liefst 2,3 keer zo veel in vergelijking met de eerste renovatiestrategie.

Hieraan gelinkt is het aantal buffervaten. De vuistregel van 10 à 15 keer het vermogen van de warmtepomp impliceert een inhoud tussen 342 000L en 515 000L. [72] Ongeveer 35 buffervaten, type PVRE 10 000 van InterClima, zijn nodig. Er zijn 2,3 keer zoveel vaten nodig in vergelijking met de eerste renovatiestrategie.

Bovendien moet opnieuw een voldoende groot BEO-veld worden voorzien. De jaarlijkse behoefte, voor zowel verwarming als sww, bedraagt 50 979 062 kWh/jaar. Rekening houdend met dezelfde vollasturen, diepte van de boringen en warmte-extractie zouden 1 565 grondboringen noodzakelijk zijn. Dat is 2,4 keer zo veel in vergelijking met de eerste renovatiestrategie¹.

Het aantal PVT-panelen kan niet vergroot worden en blijft steken op 6 737. Omwille van die reden kan er jaarlijks slecht 13,56% van het BEO-veld gegenereerd worden, een waarde die ver staat van de noodzakelijk 80%. Regeneratie aan de hand van een extra "rustveld" wordt moeilijker gezien de omvang van het boorveld.

De integratie in de wijk van de verschillende technische installaties wordt omvangrijk. De plaats in dit dense stadsnetwerk is beperkt waardoor deze situatie gewoonweg niet haalbaar is in de praktijk.

In Tabel 10 staat nogmaals het verbruik voor verwarming indien de tweede renovatiestrategie

wordt toegepast. De woningen worden voorzien van een volledig doorlopende thermische schil.

Type	Totale behoefte voor verwarming [kWh/jaar]	Vollasturen [h] [64]	Energieverbruik [kW]
Residentieel	9 024 400	1 600	5 640,25
Commercieel	284 160	1 300	218,58
Kantoor	25 600	1 300	19,69
School	5 168 103	1 200	4 306,75
Andere	76 800	1 000	76,80
<i>Totaal</i>	<i>14 579 063</i>		<i>10 262,08</i>

Tabel 10: totale verwarmingsbehoefte van de wijk zonder ingrepen

In deze situatie zou er uiteindelijk 10 516 kW aan warmte moeten worden opgewekt om de volledige wijk een voldoende hoog comfort te garanderen. In deze waarde zit zowel de totale verwarmingsvraag als het verbruik van sww op sombere winterdagen. Indien dezelfde warmtepomp (VITOCAL type BW 352 AS1190SAH) op hetzelfde regime zou werken, zijn er slechts 8 grond/water-warmtepompen nodig met een vermogen van 1 489 kW om aan de vraag te kunnen voldoen. Dat zijn twee elementen minder in vergelijking met de eerste renovatiestrategie. Dit is een relatief beperkte daling.

Hieraan gelinkt is het aantal buffervaten. De vuistregel van 10 à 15 keer het vermogen van de warmtepomp impliceert een inhoud tussen 120 000L en 180 000L [72]. Ongeveer 13 buffervaten, type PVRE 10 000 van InterClima, zijn nodig. Een daling van 2 vaten in vergelijking met de basisstrategie is niet significant.

Bovendien moet opnieuw een voldoende groot BEO-veld worden voorzien. De jaarlijkse behoefte, voor zowel verwarming als sww, bedraagt 15 139 302 kWh/jaar. Rekening houdend met dezelfde vollasturen, diepte van de boringen en warmte-extractie zouden 465 grondboringen noodzakelijk zijn. Dat is een daling met 30% in vergelijking met de eerste strategie².

Het aantal PVT-panelen kan niet vergroot worden en blijft steken op 6 737. Omwille van die reden kan er jaarlijks al 45,63% van het BEO-veld gegenereerd worden, een waarde die dichterbij de richtwaarde van 80% komt. Regeneratie aan de hand van een extra "rustveld" heeft minder plaats nodig omdat het BEO-veld met 200 boringen is gedaald.

De integratie in de wijk van de verschillende technische installaties heeft minder plaats nodig in vergelijking met de eerste renovatiestrategie. De toepassing van deze strategie is nadelig voor de beeldwaarde van de 19de-eeuwse stadswijk. De renovatie van elke voorgevel impliceert een belangrijke architecturale shift die ten allen tijde te vermijden is. Deze masterproef zoekt een integrale oplossing met aandacht voor architectuur en bouwtechniek.

Integratie technische installaties

De diverse technische installaties zijn correct gedimensioneerd aan de hand van de eerste strategie. De volgende stap is de integratie van de verschillende elementen. Onderstaande tabel geeft een overzicht van alle systemen die in de wijk geïntegreerd worden:

Technische installatie	Vermogen of inhoud/ stuk		Aantal
Warmtenet	14 544,56	[kW]	1
Grond/water-warmtepomp	1 489	[kW]	10
Buffervat	10 000	[L]	15
BEO-veld: grondboringen	32 640	[kWh/jaar]	665
PVT-panelen	1 028	[kWh/jaar]	5 420
FlexTherm Eco 6E	7	[kWh]	241
FlexTherm Eco 9E	10,5	[kWh]	519

Tabel 11: nodige technische installaties bij de eerste renovatiestrategie

Het warmtenet loopt doorheen alle straten van de wijk [Tekening 13] en bevat drie aparte leidingen. [Tekening 11] De eerste leiding is nodig om het warm water afkomstig van alle verschillende PVT-panelen naar de BEO-velden te transporteren. Op de geschikte daken liggen in het totaal 6 737 panelen, verspreid over de wijk. Deze gebouwen wisselen de warmte van de PVT-panelen uit via een warmtewisselaar met de eerste diameter van het thermisch netwerk. Uiteindelijk wordt de warmte opgeslagen in de aanwezige BEO-velden in de wijk gedurende de lente- en zomermaanden. Vervolgens zal, wanneer de verwarmingsvraag stijgt, de warmte onttrokken worden uit de boorvelden en getransporteerd worden naar de warmtepompen. Deze afstand is beperkt indien de technische ruimte dicht bij de boorvelden wordt geplaatst. Uiteindelijk zal het warm water naar de buffervaten gevoerd worden om ten slotte via een tweede leiding doorheen de volledige wijk te lopen. Via een warmtewisselaar geconnecteerd aan de gebouwaansluiting kan elke woning een comfortabele temperatuur in huis hebben. Een derde leiding biedt een extra mogelijkheid. Indien, vooral in de tussenseizoenen, de temperatuur van de PVT-panelen rond de 35°C schommelt, wordt die warmte rechtstreeks doorheen de wijk gestuurd zonder passage aan de BEO-velden.

Het warmtenet zoals weergegeven in Tekening 13 bestaat dus uit drie aparte buizen met een binnendiameter van 30 cm. De buitendiameter bedraagt 52,4 cm door de isolatie die rond de buizen wordt gelast waardoor de warmteverliezen worden beperkt.

De integratie in de ondergrond gaat gepaard met verschillende randvoorwaarden. Er zijn diverse limieten gelinkt aan bestaande leidingen, onderlinge afstanden en de bestaande woningen:

- de leidingen liggen allemaal naast elkaar zodat verbindingen en het laswerk gemakkelijk kunnen uitgevoerd worden.
- de bovenzijde van de leiding dient ten minste 1 m onder de grond te zitten.

- de tussenafstand tussen een leiding van het warmtenet en een waterleiding is minimaal 50 cm.
- de minimale afstand tussen een leiding van het warmtenet en de riolering bedraagt 50 cm.
- de minimale tussenafstand met andere nutsleidingen bedraagt 20 cm. Voor kruisende leidingen gelden dezelfde regels.
- tussen twee leidingen van het thermisch netwerk moet minstens 15 cm vrije ruimte gelaten worden. Tussen aanvoer en retour is minstens 30 cm noodzakelijk¹.

In de Pastorijstraat is de integratie mogelijk zoals weergegeven in Tekening 11. In het straatniveau is er een leiding voor gas, water en riolering aanwezig. Een gesplitste riolering wordt regelmatig toegepast: RWA en DWA. RWA is de afvoer van regenwater, DWA staat op de afvoer van sterk geconcentreerd afvalwater. [74] Kleinere leidingen of kabels, zoals internet en elektriciteit hebben een minder grote impact op de integratie.

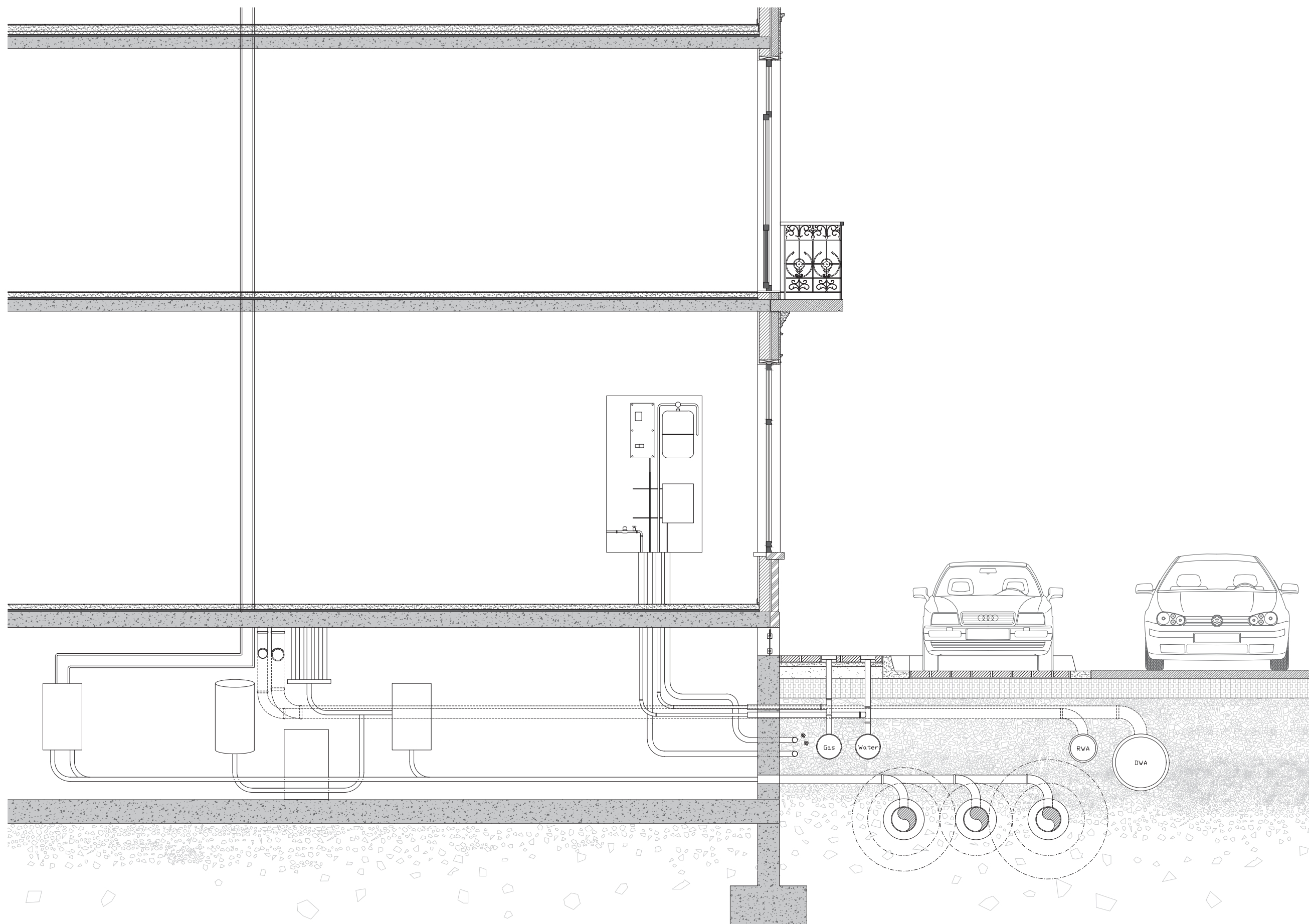
De drie leidingen van het warmtenet liggen op 40 cm van elkaar². De kruisende leidingen die de aansluiting maken met de woningen liggen 20 cm boven de andere warmtenetleidingen. Alle leidingen liggen meer dan 50 cm van andere nutsleidingen zoals riolering, gas en water. Het thermisch net bevindt zich op een diepte van 1,63 m en heeft nog 1,32 m grond boven de kruisende leidingen liggen.

Indien het warmtenetwerk volledig wordt uitgewerkt, kan in theorie de gasleiding worden verwijderd in dit deel van de wijk. Elk gebouw maakt dan gebruik van de wamtepompen en de FlexTherm Eco voor de productie van warmte en sww.

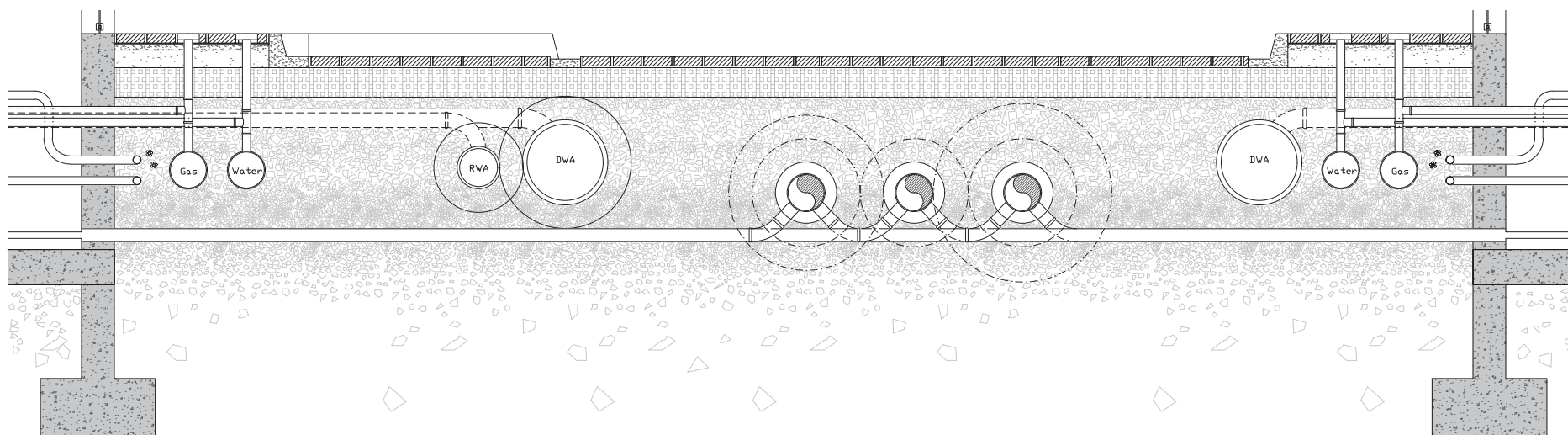
In de woning staat een teller die het verbruik van de woning registreert. Het warm water wordt via een warmtewisselaar in de woning gebracht. De woning heeft dus een apart watercircuit. Via de collectoren stroomt het verwarmd water ten slotte naar de eindelementen. Voor het sww staat er in de woning een FlexTherm Eco gekoppeld aan een individueel buffervat. De PVT-panelen staan ook in verbinding, via een warmtewisselaar, met een leiding van het warmtenet.

De integratie van het warmtenet kan gepaard gaan met de heraanleg van een (deel van) een straat. Dan bestaat de optie om de leidingen centraal in het straatprofiel te leggen zoals weergegeven in Tekening 12. Op die manier is er meer plaats om de leidingen te plaatsen en is er voldoende afstand ten opzichte van bestaande leidingen zoals gas, water of riolering. Bovendien is er maar één hoofdleiding nodig in de straat die naar beide zijden aftakt. De kost, waarop later dieper wordt ingezoomd, kan hierdoor gereduceerd worden.

De infrastructurele werken hebben dan een grotere impact op de straat. Deze optie kan slechts gebeuren indien Stad Antwerpen de heraanleg van een straat op de planning heeft staan. Dan zal zowel de integratie van het warmtenet als de herinrichting van de straat in één trek gebeuren.



Tekening 11: snede straatniveau van het warmtenet en de aansluiting naar Pastorijsstraat 29



Tekening 12: variant straatprofiel indien de volledig straat wordt heraangelegd

In plan wordt duidelijk dat het netwerk langs alle gebouwen in de wijk passeert. Elke individuele unit kan gebruik maken van de duurzame warmteopwekking. Het volledige netwerk is 3,43 km lang. Het volledige leidingennetwerk is dus ongeveer 10,30 km lang. [Tekening 13]

Indien het warmtenet in één fase wordt geconstrueerd, heeft dit een grote ruimtelijke impact tot gevolg. Een opsplitsing in verschillende opeenvolgende fasen, verspreid over een te bepalen periode, vergroot de haalbaarheid van het project. Qua investeringskost is deze methode ook aannemelijker. Net zoals "Nieuw Zuid, Antwerpen" waar de uitwerking van het warmtenet ook in verschillende fasen zal gebeuren.

Een voorstel voor de effectieve realisatie is zichtbaar in Tekening 13. Aan de hand van een driedelig fasering wordt de wijk voorzien van verwarming en sww. In een eerste fase wordt het thermische netwerk in het grootste bouwblok, ten oosten van de Sint-Willibrorduskerk, aangelegd. Dit deel wordt uitgebreid in een tweede fase waarbij twee extra bouwblokken meegetrokken worden in het duurzaam verhaal. Het gaat om de bouwblokken ten noorden en ten westen van de kerk. In laatste instantie wordt het noordelijke deel van de wijk aangetakt op het thermisch netwerk.

De uitwerking van de verschillende fasen is slechts een aanzet voor werkelijke uitvoering. In realiteit vergt dit economisch onderzoek om kostenefficiënt aan de slag te gaan.

Het netwerk wordt dus gevoed door de PVT-panelen zoals reeds aangehaald. Maar deze warmte wordt opgeslagen in een BEO-veld om een seizoensshift mogelijk te maken. Uit de berekeningen bleek dat er 665 boringen nodig zijn om het juiste vermogen te kunnen opwekken. Een compact veld wordt aangelegd met een tussenafstand van 2 m tussen de boringen met een diameter van 150 mm. De integratie van 1 BEO-veld impliceert een veld van ongeveer 55 m op 55 m. De bestaande onderlegger veegt deze mogelijkheid direct van tafel. Een opsplitsing in verschillende velden is noodzakelijk.

Het stedelijk weefsel biedt op bepaalde plaatsen voldoende ruimte om verschillende boringen uit te voeren. Het Sint-Mariacollege heeft een toegankelijke speelplaats, ook het Stedelijk Lyceum heeft voldoende plaats. Daarnaast is AG Vespa momenteel bezig met de bouw van een nieuw complex in de wijk. Verschillende woningen zijn tegen de vlakte gegaan waardoor er een open ruimte is ontstaan. [75] Tot slot is er achter een gebouw van het Sint-Jozefinstituut nog een relatief open vlakte die toegankelijk is voor het uitvoeren van de boringen.

De verdeling ziet er als volgt uit:

Locatie	Aantal boringen	Capaciteit [%]
Sint-Maria	117	17,59
Stedelijk Lyceum	106	15,94
AG Vespa	234	35,19
Sint-Jozef	208	31,28
<i>Totaal</i>	<i>665</i>	<i>100</i>

Tabel 12: verdeling BEO-velden

Naast het warmtenet worden ook de grondboringen in fasen uitgerold. Het is belangrijk dat er steeds voldoende grondboringen worden uitgevoerd om het reeds uitgewerkte warmtenet te kunnen voeden. Een inschatting van de warmtevraag per bouwblok is hiervoor noodzakelijk. Volgende tabel geeft een samenvatting voor de verwarmingsvraag:

Locatie	Warmtevraag [kWh/ jaar]	Aandeel [%]
Blok 1	4 636 548	22,05
Blok 2	3 071 040	14,61
Blok 3	5 312 340	25,27
Blok 4	1 161 600	5,52
Blok 5	852 480	4,05
Blok 6	1 180 800	5,62
Blok 7	1 234 560	5,87
Blok 8	3 575 695	17,01
<i>Totaal</i>	<i>21 025 063</i>	<i>100</i>

Tabel 13: warmtevraag per bouwblok

In de eerste fase wordt blok 1 aangesloten op het thermisch netwerk, net als het zuidelijke deel van blok 2 en de oostelijke straat van blok 6. Een aandeel van ongeveer 29 % is dan reeds aangesloten op het netwerk of ongeveer een derde van de volledige wijk. Het boorveld aangelegd achter Sint-Jozef kan ongeveer 31% capaciteit bieden waardoor de vraag volledig wordt gedekt.

In de tweede fase worden bouwblok 8 en de rest van 6 aangesloten op het warmtenetwerk. Dit is een aandeel van ongeveer 24% in de totale warmtevraag van de wijk. De capaciteit van het BEO-veld van Sint-Maria bedraagt net geen 18%, een waarde die net te laag is om de warmtevraag te kunnen dekken. Er was wel een klein overschot in de eerste fase waardoor het gehele plaatje nog steeds in evenwicht is.

De derde en laatste fase is een uitbreiding met de resterende 47% warmtevraag. Hiervoor worden nog twee boorvelden aangelegd: AG Vespa en het Stedelijk Lyceum.

Uiteindelijk moet het noodzakelijke "rustveld" nog een plaats krijgen in de wijk. Een locatie die nog niet is aangehaald, bevindt zich voor de hoofdingang van de kerk. Het stedelijk plein is een open vlakte die perfect gebruikt kan worden om de andere velden te regenereren: een BEO-veld met 240 boringen. Hiervoor moet het aangelegde kunstwerk in de grond wel verdwijnen of worden heraangelegd.

In het volgende deel wordt de integratie van de warmtepompen en buffervaten verder toegelicht.



Tekening 13: integratie van het warmtenet en de BE0-velden

De integratie van de 15 buffervaten en de 10 warmtepompen zijn nog niet besproken. De afmetingen van de elementen zijn de volgende:

- grond/waterwarmtepomp [hxbxl]: 2000 mm x 1500 mm x 4300 mm
- buffervat [hxD]: 5020 mm x 1900 mm

De technische installaties worden afgestemd op de BEO-velden en dus de warmtevraag. In de eerste fase met een capaciteit van 31% is een technische ruimte nodig met drie warmtepompen en vier buffervaten. De tweede fase, met het BEO-veld in de speelplaats van het Sint-Mariacollege, heeft een capaciteit van ongeveer 18%. Hier zouden twee warmtepompen en drie buffervaten nodig zijn. Hetzelfde principe kan worden toegepast om de andere technische installaties toe te wijzen aan de BEO-velden. Tabel 12 wordt zodoende verder aangevuld:

Locatie	Aantal boringen	Capaciteit [%]	Aantal warmtepompen	Aantal buffervaten
Sint-Maria	117	17,59	2	3
Stedelijk Lyceum	106	15,94	2	3
AG Vespa	234	35,19	3	5
Sint-Jozef	208	31,28	3	4
<i>Totaal</i>	<i>665</i>	<i>100</i>	<i>10</i>	<i>15</i>

Tabel 14: verdeling technische installaties

De technische installaties worden best zo dicht mogelijk bij de BEO-velden geplaatst. Twee belangrijke redenen kunnen hiervoor worden aangehaald: de afstand tussen het BEO-veld en de installaties beperkt de extra nood aan leidingen. Hoe beperkter het aantal meter leiding, hoe goedkoper de integratie wordt. Daarnaast, en gelinkt aan de eerste reden, worden de warmteverliezen beperkt indien de afstand ook beperkt blijft.

Een technische ruimte is vormgegeven in Tekening 14. Bovenop het BEO-veld bevindt zich een deels ondergrondse constructie centraal op de speelplaats van het Sint-Mariacollege. In deze ruimte staan twee warmtepompen en drie buffervaten om de capaciteit van de boringen optimaal te kunnen inzetten. Er is een rechtstreekse verbinding noodzakelijk van de leiding met het warm water van de PVT-panelen en de grondboringen. De warmte wordt er gedurende de zomermaanden opgeslagen. In de winter, wanneer de warmtevraag stijgt, wordt de warmte onttrokken uit de grond van zodra de warmtepomp in gang schiet. De warmtepomp warmt de drie vaten op die het water via het warmtenet ten slotte naar de eindgebruikers zal brengen. Alle verschillende componenten komen samen in deze snede.

De persoon in de technische ruimte plaatst alles in perspectief. De systemen zijn groter dan de gekende toestellen die in de kelders van de individuele woningen staan. De ruimte heeft een vrije hoogte van 5,80 m, een breedte van 11 m en is 14,2 m lang. In alle dimensies is er voldoende vrije ruimte zodat herstellingen steeds kunnen uitgevoerd worden. De technische installaties staan ook minstens 1,40 m uit elkaar zodat alle onderdelen steeds gemakkelijk bereikbaar blijven.

De betonnen structuur en de akoestische isolatie zorgen ervoor dat de ruimte voldoende geluidsdempend werkt. Op volle kracht produceert één warmtepomp 91,4 dB. Er staan twee elementen in dezelfde ruimte die hetzelfde geluidsniveau produceren waardoor het totale geluidsdrukkniveau 94,4 dB bedraagt¹.

De ruimte blijft toegankelijk voor jaarlijks onderhoud en eventueel vervanging van bepaalde onderdelen. Indien een volledig element vernieuwd moet worden, is dit niet zo evident. De dimensies laten het niet toe om een volledige installatie via een kleine opening te verwijderen. Hiervoor zijn structurele aanpassingen nodig. Hetzelfde principe is toegepast bij "Nieuwe Dokken, Gent". Alle technische installaties werden in de kelder geplaatst vooraleer de bovenliggende verdiepingen werden afgewerkt. [76]

De technische ruimte steekt gedeeltelijk bovengronds uit. Het zicht over de speelplaats wordt hierdoor niet aangetast, maar krijgt meer richting. De hoogtesprong creëert een extra dimensie op de speelplaats en maakt de ingreep visueel duidelijk. De ruimte staat centraal op de speelplaats zodat het zicht op de vier omliggende gevels bewaard blijft. Momenteel is de volledige open ruimte verhard en zijn er slechts vier bomen aanwezig. Via drie treden is het grasveld bereikbaar. Het stadsgroen kan ingezet worden als speelweide of rustplaats en verhoogt de variatie van de gehele schoolomgeving. Het groendak biedt ook een extra akoestische buffer zodat de geluiden amper hoorbaar zijn op de speelplaats en geen afleiding zijn voor de studenten.

De speelplaats wordt buiten de schooluren ook gebruikt door de aanliggende huizen in de Lovelingenstraat. Hun tuin is door het schoolcomplex beperkt, maar met een overeenkomst met het schoolbestuur mogen ze gebruik maken van de buitenruimte. Het grasveld kan ingezet worden als stadstuin waardoor het sociale leven wordt gestimuleerd. Het onderhoud kan eventueel ook door de bewoners gebeuren, waardoor de onderhoudslasten voor de school quasi gelijk blijven.

De andere technische ruimtes kunnen op eenzelfde manier geïntegreerd worden in het bestaande landschap. Omdat de dimensies van de technische ruimte groot zijn, groter dan de gekende technische ruimtes, kunnen hieruit nieuwe interessante ontwerpogaven ontstaan. De technische ruimte gaat een belangrijke plaats opeisen binnen het ontwerpproces en dringt naar de voorgrond.

¹ Indien twee geluidsbronnen eenzelfde geluidsniveau produceren, bedraagt het totale geluidsniveau niet de som van beide afzonderlijk, maar het geluidsdrukkniveau + 3 dB [77].



Tekening 14: snede met de integratie van twee warmtepompen en drie buffervaten in een nieuwe technische ruimte (Sint-Mariacollege)

Financiële analyse

Het uitrollen van een warmtenet gaat gepaard met diverse kosten: de aankoop van de technische installaties, de PVT-panelen, het leidingennetwerk, de renovatiekost voor de individuele woningen en onderhoud zijn de belangrijkste. De kosten bepalen, naast de integratie, de haalbaarheid van het project. Vooral in tijden van crisis is de Vlaming gevoelig in zijn portemonnee. Tegen welke prijs is de duurzame omschakeling nog aanvaardbaar?

De aankooprijzen van de technische installaties variëren van producent tot producent. De inschatting van de kostprijs van het warmtenet in de straten van de wijk is minder voor de hand liggend. Die prijs wordt bepaald door aannemers, de duur van het project, locatie en eventuele gecombineerde werken. Ook de gebouwaansluiting is hierin een bepalende factor. Volgend overzicht geeft referentiewaarden van reeds uitgevoerde of nog in studie zijnde warmtenetten:

Warmtenet	Lengte [km]	Totale prijs [€]	Prijs/m [€]	Prijs aansluiting [€]
MiROM, Roeselare	19	19 000 000	1 000 [78]	–
Geldof, Brugge	15,9	15 780 000	992,45 [79]	–
Geldof, Sint-Andries	22,5	22 220 000	987,56 [79]	–
Godshuizen, Brugge	–	–	700 ¹	5 000
Fluvius, Antwerpen	–	–	3 000 ²	6 000

Tabel 15: richtprijzen warmtenetten

De richtwaarden van Fluvius uit Tabel 15 worden in Antwerpen meegegeven indien een warmtenet wordt geïnstalleerd. Die prijzen zijn onderhevig aan veranderingen door aannemingscontracten en de grootte van het project. De kost om de leidingen aan de leggen (3 000 €/m) kan eventueel met 10% dalen indien de integratie van het thermisch netwerk gepaard gaat met geplande infrastructuurwerken van stad Antwerpen.

De andere waarden in Tabel 15 zijn een stuk lager. De installatiekost van het net in Roeselare geeft slechts een algemene inschatting. De warmtenetten in Brugge worden gesubsidieerd waardoor de kost ook lager uitvalt. Het warmtenet van de Godshuizen in Brugge was veel beperkter qua omvang en bedient slechts elf woningen.

De opvallende kost, zowel bij de Godshuizen als Fluvius, is de gebouwaansluiting. 5 à 6 000 euro per gebouw is een zware investering.

In de casestudy gaat het over een warmtenet van 3,43 km lang. Het bestaat uit een driedig leidingennetwerk waardoor de totale lengte 10,29 km bedraagt. Aan een eenheidsprijs van 3 000 €/m bedraagt de totale aanlegkost 30,87 miljoen euro.

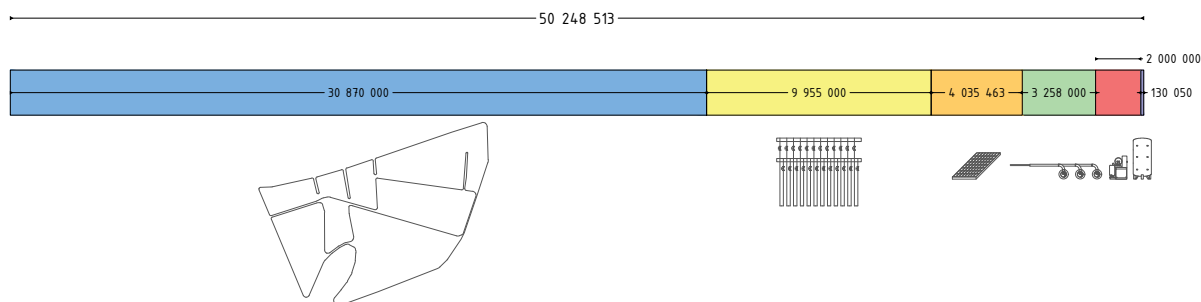
In de wijk staan er 543 gebouwen die allemaal een aansluiting nodig hebben. De totale investering loopt op tot 3,258 miljoen euro. Samen met de leidingen kost het netwerk al 34,128 miljoen euro³.

1 Deze waarden zijn verkregen uit mailverkeer met prof. W. Boydens

2 Deze waarden zijn verkregen uit mailverkeer met K. Enkels, Fluvius

3 De exacte berekeningen zijn terug te vinden in bijlage: "Financiële analyse warmtenet" op pagina 181

De investeringskost loopt nog verder op door de technische installaties: de PVT-panelen, de grond/water-warmtepompen, de buffervaten en de grondboringen¹. De financiële analyse is in volgende figuur gegoten:



Grafiek 1: globale kost van het warmtenet in euro

Uit Grafiek 1 is af te lezen dat de integratie van de leidingen in de ondergrond bijna 60% van de volledige financiële kost inneemt. De grondboringen (geel, Grafiek 1) zullen net geen 10 miljoen euro bedragen. De PVT-panelen (oranje, Grafiek 1) vallen binnen dezelfde grootteorde als de aansluitingen van de woningen (groen, Grafiek 1). De warmtepompen en de buffervaten maken slechts een klein deel uit (4,2%) van de totale investering. Het warmtenet zou ongeveer 50,3 miljoen euro kosten.

Vervolgens moet elke woning ook individueel gerenoveerd worden. De toevoeging van isolatie en afwerkingsmaterialen hebben ook een kostenplaatje. Daarnaast stijgt de investering nogmaals door de installatie van de FlexTherm Eco en een buffervat voor sww in ieder gebouw.

Die investering hangt van een aantal zaken af:

- het type woning: appartement of rijhuis
- de architectuur: historisch waardevolle gevel of niet?
- de oppervlakte van de gebouwschil
- de reeds aanwezig isolatie

In principe vraagt elke woning dus een grondige analyse om de correcte inschatting van de kosten te maken. Een algemene benadering daarentegen geeft alvast meer inzicht in de grootteorde.

Drie bestaande gebouwen in de wijk worden toegelicht en gelden als rode draad voor de volledige wijk. De drie gevels werden reeds aangehaald in het hoofdstuk "De wijk".

- Pastorijsstraat 29: historisch waardevolle rijwoning met een oppervlakte van 320 m²
- Pastorijsstraat 51: historisch waardevolle rijwoning met een oppervlakte van 211 m²
- Pothoekstraat 13-15: appartementencomplex met 8 appartementen met elk een oppervlakte van 91,2 m².

Voor deze typegebouwen worden een aantal zaken gewijzigd of toegevoegd. Voor alle types wordt de achtergevel volledig gerenoveerd door het toevoegen van isolatie en pleisterwerk als afwerking. De ramen worden in alle gevels vervangen door een kozijn met dubbele beglazing. Indien er een zadeldak aanwezig is, wordt er tussen de structurele elementen glaswol aangebracht om de thermische eigenschappen te verhogen. Een plat dak wordt ook voldoende geïsoleerd en volledig waterdicht gemaakt met epdm.

Een groendak is enkel mogelijk wanneer de structuur de extra belasting kan dragen. Door deze onzekerheid wordt deze kost niet in rekening gebracht. Een groendak kan voor de individuele unit en de volledige wijk een pluspunt zijn zoals vermeld in het hoofdstuk "Groendaken".

De vloer op volle grond en de kelder worden ook voorzien van isolatie met een keramische tegel als afwerking.

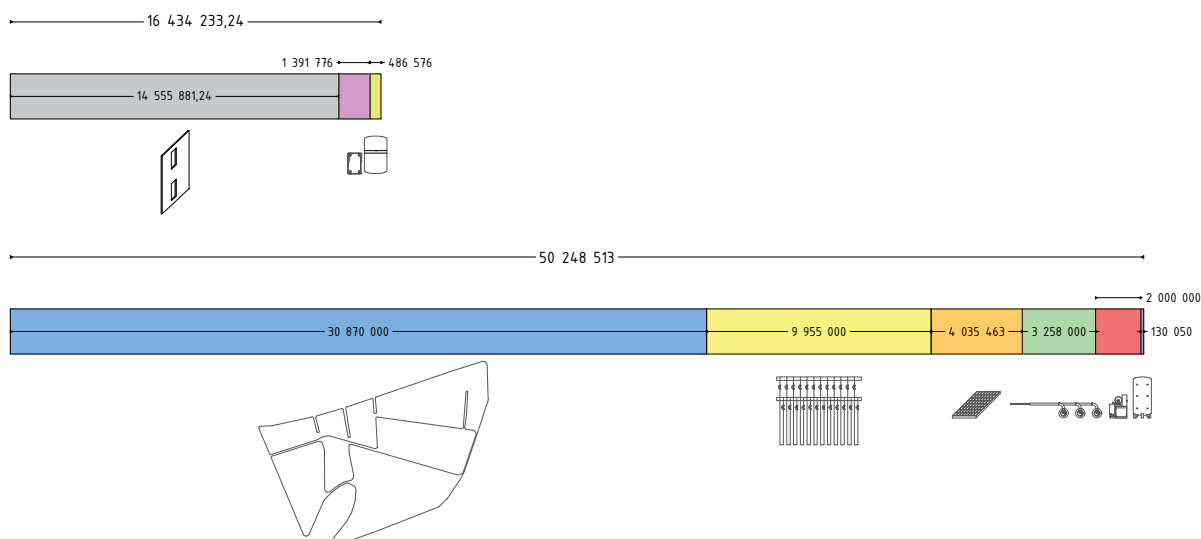
De voorgevel wordt, zoals eerder vermeld, aangepakt afhankelijk van de historische waarde. Beide woningen in de Pastorijstraat blijven gevrijwaard van isolatie. Het appartement in de Pothoekstraat wordt langs de binnenzijde thermisch geïsoleerd en met pleister afgewerkt. Zo blijft de buitenzijde onaangetast en worden stedenbouwkundige regels in verband met rooilijnen en perceelsgrenzen op elk moment gerespecteerd.

Naast de renovatiematerialen heeft elke unit ook nog nood aan een FlexTherm Eco om te kunnen voorzien in sww. De prijs is afhankelijk van het vermogen van het toestel. Twee types voldoen aan de eisen:

- FlexTherm Eco 9E met een vermogen van 10,5 kWh kan ingezet worden in de rijwoningen. Het verbruik van sww, zoals vermeld in Tabel 6, bedraagt 9,77 kWh.
- FlexTherm Eco 6E met een vermogen van 7,0 kWh kan ingezet worden in een appartement. Het verbruik van sww, zoals vermeld in Tabel 6, bedraagt 4,88 kWh.

De prijs van de toestellen bedraagt respectievelijk € 2 806 en € 2 423. [80]

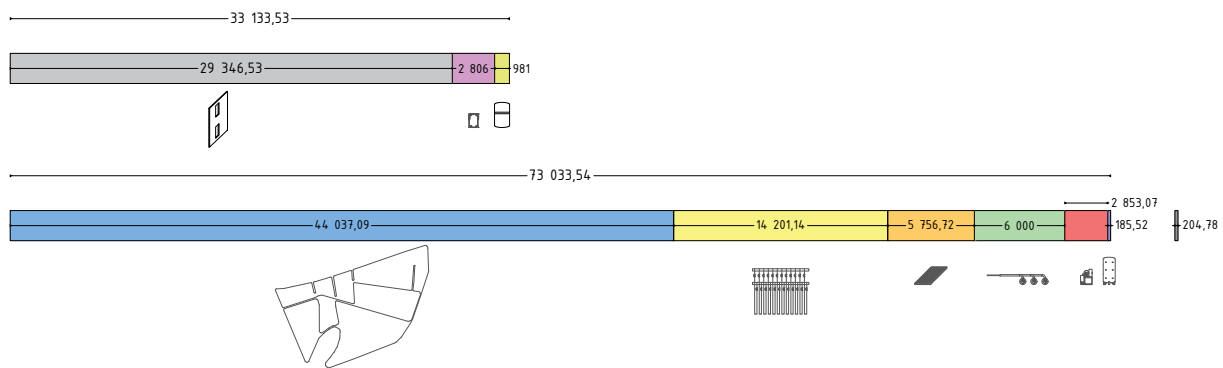
Voor een rijwoning is een buffervat van 300L voldoende¹. Een appartement heeft een vat van 150L nodig om de vraag te kunnen opvangen². De prijzen bedragen respectievelijk € 981 en € 1 608. [81] [82]



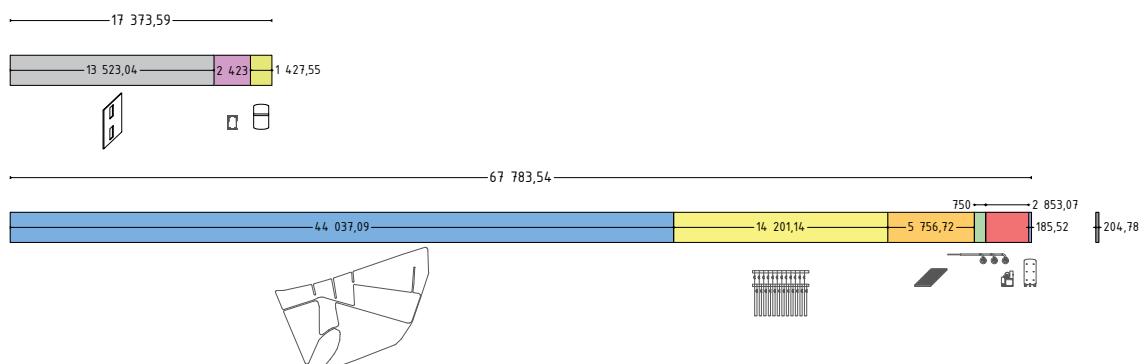
Grafiek 2: globale kost van de te renoveren gebouwen (boven) en de globale kost van het warmtenet

De globale kost van de te renoveren gebouwen bedraagt ongeveer 16,5 miljoen euro³. Het gaat hier om een algemene waarde. De woning uit de Pastorijstraat, nummer 51, vormde de basis voor deze calculatie. Hoewel elke woning verschillend is, kan deze woning met een oppervlakte van ongeveer 210 m² gezien worden als wijkgemiddelde. De woning uit de Pastorijstraat 29 met een oppervlakte van 320 m² komt in mindere mate voor.

De totale kost zegt enkel iets over de globale investering. De individuele kost per woning kan hieruit niet worden afgeleid. De kost voor de renovatie van de woning wordt toegeschreven aan de woning zelf. De collectieve kosten daarentegen worden eerlijk verdeel over alle units van de wijk⁴.



Grafiek 3: investeringskost per rijwoning in euro



Grafiek 4: investeringskost per appartement in euro

De grijze balk van Grafiek 3 toont de kost die nodig is voor de woning te renoveren alsook en bedraagt 29 346,53 euro. De productie en opslag van sww¹ (roze en lichtgroen, Grafiek 3) vergt een investering van 3 787 euro, samen goed voor een bedrag van € 33 133,53.

De gedeelde collectieve kost is een veelvoud van dit bedrag. De aanleg van het warmtenet vraagt een investering van iets meer dan € 73 000. De integratie van de leidingen in het straatniveau is al duurder dan de totale renovatie van de woning: afgerond 44 000 euro. De kost per rijwoning van de warmtepompen en de buffervaten zijn beperkt.

De totale financiële uitgave komt uiteindelijk neer op 106 167,07 euro. De onderhoudskost, helemaal rechts op de grafiek, is een jaarlijkse uitgave van net geen 205 euro. Hierover later nog meer².

De investering voor de renovatie van een appartement is opvallend lager. [Grafiek 4] De aanpassingen aan de thermische schil worden gedeeld over verschillende units. Het geveloppervlak is wel groter, maar wordt efficiënt verdeeld over acht units. De investering voor de opwekking van sww ligt in dezelfde lijn als de rijwoning. Een appartement heeft een lager verbruik van sww. Hierdoor kan een FlexTherm Eco met een lager vermogen geïnstalleerd worden, namelijk de 6E, en ligt de kost ook lager in vergelijking met de rijwoning. Het buffervat is wel iets duurder, ondanks de kleinere inhoud. De kost hiervan is afhankelijk van het type en de producent.

De collectieve kost is quasi gelijk in vergelijking met de rijwoning. Het enige verschil is de aansluitingskost per appartement. Voor het volledige complex is een bedrag van € 6.000 nodig. Die investering wordt gesplitst over acht units en bedraagt dus € 750/appartement.

De totale investering voor een appartement bedraagt 85 157,13 euro. Dit is ongeveer 20% minder dan de rijwoning³.

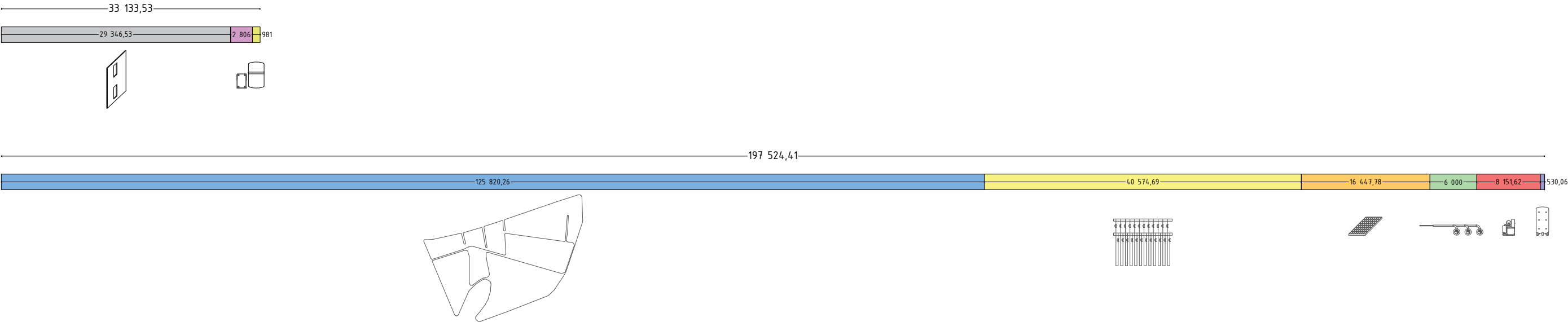
Deze vergelijking geldt enkel wanneer elk gebouw in de wijk wordt aangesloten op het warmtenet en deelt in de kosten. Dat betekent dat de hele wijk geïnformeerd en gemobiliseerd moet worden en dat vergt inspanning van burgers, beleidsinstanties en bedrijven.

Grafiek 5 en Grafiek 6 tonen de investeringskost per unit indien slechts 35% van de wijk meestapt in het duurzaamheidsverhaal rond warmtenetten. 245 woningen en appartementen dragen dan de investering voor de integratie. Er wordt wel nog altijd rekening gehouden met de verwarmingsvraag van de volledige wijk zodat in een latere fase nog andere woningen kunnen aansluiten op het warmtenet en er geen herdimensionering nodig is van de technische componenten.

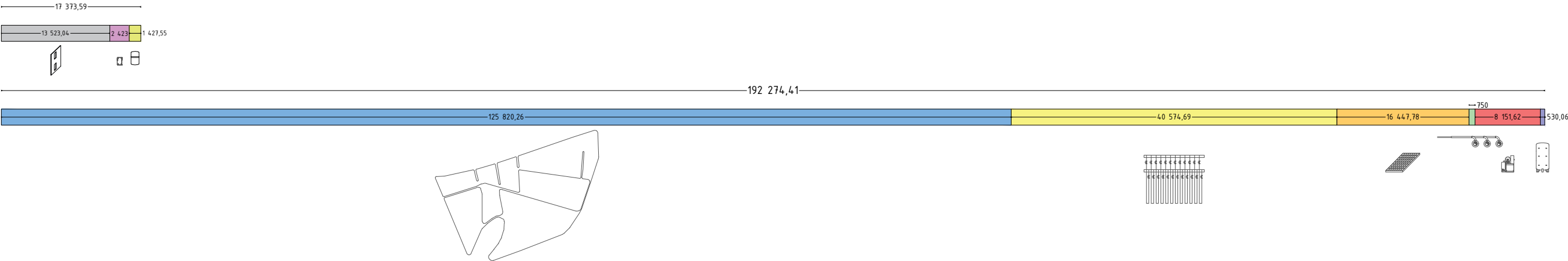
De renovatiekost voor de individuele woningen, zijnde de isolatie en de FlexTherm met buffervat, blijven in beide gevallen gelijk. De kost stijgt niet omdat er minder mensen geïnteresseerd zijn in het warmtenet. Daarnaast blijft ook de aansluitingskost (groen, Grafiek 5 en Grafiek 6) constant. De aansluitingskost is louter toe te wijzen aan één gebouw en niet aan de volledige wijk.

Alle andere kosten nemen in sterke mate toe. De integratie van de leidingen van het warmtenet bedraagt nu net geen € 126 000. De grondboringen vormen 21% van de collectieve kost. Het geheel van PVT-panelen, aansluiting, warmtepompen en buffervaten is samen ongeveer evenveel als de investering voor de grondboringen.

De totale investeringskost voor de rijwoning en het appartement loopt nu op tot respectievelijk € 230 000 en € 210 000¹. Die prijzen zijn vergelijkbaar met de aankoop van een nieuw appartement. Niet iedereen is bereid om zo een stevig bedrag neer te tellen voor een renovatieproject. Daarom is het van kapitaal belang om zoveel mogelijk mensen te sensibiliseren om mee in het project te stappen. Op die manier krijgt de volledige wijk een nieuw, maar bovenal een duurzaam tweede leven.



Grafiek 5: investeringskost in euro per rijwoning indien slechts 35% van de wijk achter het project staat



Grafiek 6: investeringskost in euro per appartement indien slechts 35% van de wijk achter het project staat

Alternatieve energetische renovatie

Die grote kosten wil niet iedereen maken. Dat wil niet zeggen dat mensen niet open staan voor een duurzaam alternatief. Los van het warmtenet, dat inzet op collectieve belangen, kan een individu ervoor kiezen om een woning duurzaam te renoveren. Grondboringen in de achtertuin zijn uitgesloten, maar er bestaan nog andere types warmtepompen. Een lucht/water-warmtepomp werkt op ongeveer dezelfde manier als een grond/water-warmtepomp. Het grootste verschil is de bron die wordt aangesproken om de warmte op te wekken. In een gesloten circuit wordt een vloeistof rondgepompt. De buitenunit onttrekt warmte van de lucht die over een verdampert wordt gestuurd¹. De temperatuur wordt verhoogd door middel van een compressor. De verwarmde vloeistof bevindt zich nu in gasvorm en wordt getransporteerd naar de binnenunit waar het zijn warmte kan afgeven via een condensor. Hierdoor condenseert het gas weer. Het expansieventiel geeft meer ruimte waardoor het gas volledig vloeibaar wordt. De vloeistof wordt opnieuw ingezet om warmte te onttrekken van de buitenlucht.

Deze applicatie wordt vaak ingezet omdat het relatief compact is. Het rendement van de lucht/water-warmtepomp is wel lager dan de grond/water-warmtepomp wat vooral te wijten is aan de sterk variërende luchttemperatuur in vergelijking met de stabiele aardwarmte. [83]

De lucht/water-warmtepomp moet voldoende vermogen kunnen bieden om de woning te verwarmen. Het verbruik is reeds bepaald. Tabel 16 geeft een overzicht voor verschillende types gebouwen waarna de juiste warmtepomp met een voldoende groot vermogen wordt toegewezen.

De eerder opgesomde gebouwen worden opnieuw opgenomen zodat er een correcte vergelijking kan gemaakt worden met het warmtenet. Op de drie types is een variatie ontwikkeld waarbij de andere renovatiestrategie is toegepast: de twee woningen focussen op de tweede renovatiestrategie waarbij ook de voorgevel wordt gerenoveerd. Het appartement richt zich op de eerste strategie waarbij de voorgevel een esthetische of historische waarde heeft.

De vermogens in de laatste kolom van Tabel 16 vormen de basis voor de lucht/water-warmtepomp die uiteindelijk geïnstalleerd wordt.

Type	Oppervlakte	Verbruik [kWh/m ² /jaar] [59]	Totaal verbruik [kWh/jaar]	Vollasturen [h] [64]	Vermogen [kW]
Pastorijstraat 29	320	120	38 400	1 600	24,00
Pastorijstraat 29 variatie	320	70	22 400	1 600	14,00
Pastorijstraat 51	211	120	25 320	1 600	15,83
Pastorijstraat 51 variatie	211	70	14 770	1 600	9,23
Pothoekstraat 13-15	724	120	86 880	1 600	54,30
Pothoekstraat 13-15 variatie	724	70	50 680	1 600	31,68

Tabel 16: nodige vermogen van een lucht-waterwarmtepomp voor verschillende typewoningen

Twee producenten bieden verschillende types aan die voldoen aan de nodig eisen: Carrier [Technische fiche 7] en Daikin [Technische fiche 8] waarvan de laatstgenoemde vooral warmtepompen met grotere vermogens (> 30kW) op de markt brengt. De integratie van de verschillende toestellen gebeurt op gebouwniveau.

Onderstaande tabel toont de types warmtepompen die in aanmerking komen:

Type	Vermogen [kW]	T-regime [°C]	Dimensies HxDxL [mm]	Prijs [€]	Toebehoren [€]
Carrier 61AF 035	32,6	30/35	1330 x 1327 x 1110	17 900	4 622
Carrier 61AF 075	64,9	30/35	1330 x 2100 x 2273	29 300	6 569
Daikin ERLQ011CV3	11,38	30/35	1345 x 320 x 900	10 049	-
Daikin ERLQ014CV3	14,55	30/35	1345 x 320 x 900	10 448	-
Daikin ERLQ016CV3	16,10	30/35	1345 x 320 x 900	11 031	-

Tabel 17: type lucht/water-warmtepompen

Voor het appartementencomplex zijn de warmtepompen met een hoog vermogen nodig (>30 kW). Op die manier moet slechts één toestel geïntegreerd worden om alle appartementen van verwarming te voorzien. Een woning met een historische voorgevel en een oppervlakte van ongeveer 320 m² heeft ook nood aan een zwaar kaliber, meer bepaald een vermogen > 24kW. Indien de gevel geen historische waarde heeft, is een toestel van 14 kW voldoende.

Woningen met een oppervlakte rond de 200 m² met een esthetische voorgevel hebben voldoende met een vermogen van 16,1 kW. De alternatieve strategie met een warmtepomp van 9,25 kW voldoende. [Tabel 16] [Tabel 17]

Tekening 15 toont de integratie van de buitenunits van de warmtepompen. Twee appartementencomplexen hebben nood aan vermogen van minstens 31,68 kW, wat geleverd wordt door het type Carrier 61 AF 035. De buitennunits kunnen eenvoudig op het dak geplaatst worden en staan in verbinding met een binnenunit die gebruik maakt van de luchttemperatuur om het verwarmingswater op temperatuur te brengen. Omdat de warmtepomp tijd nodig heeft om het water op 35°C te brengen, is een buffervat ook hier noodzakelijk. Voor acht units is een vat van 1 000L voldoende¹.

De andere woningen hebben een maximale oppervlakte van 210 m² en hebben geen architecturale voorgevel. Na de toepassing van de tweede renovatiestrategie is een warmtepomp met een vermogen van 11,38 kW voldoende om de vraag van 9,23 kW af te dekken. De buitenunits worden geplaatst op de platte daken van de bijgebouwen aan de achterzijde van de constructies. [Tekening 15]

Deze integratie heeft wel enkele limieten. Het hoekhuis heeft geen achtergevel gericht naar het binnengebied en geen plat dak. Dat betekent dat de buitenunit aan de straatzijde van de woning geplaatst moet worden. Een gedeelde warmtepomp biedt ook mogelijkheden. In overeenstemming met zijn buur kan zijn opteren voor een gedeelde warmtepomp met een hoger vermogen. De buitenunit zou dan bij de geboor geïntegreerd worden. Die optie is moeilijk in te schatten en hangt af van de keuzes van beide eigenaars.

De woning links naast het hoekhuis heeft ook geen achterbouw. De buitenunit wordt dan ofwel op de grond geplaatst of eventueel aan de achtergevel bevestigd.

Daarnaast produceren de warmtepompen een bepaald geluidsniveau gelinkt aan het vermogen. Hoe hoger het vermogen, hoe intenser het geluid. Indien alle woningen een buitenunit plaatsen, neemt de geluidsoverlast toe. De akoestische invloeden worden verder in de masterthesis nog aangehaald.

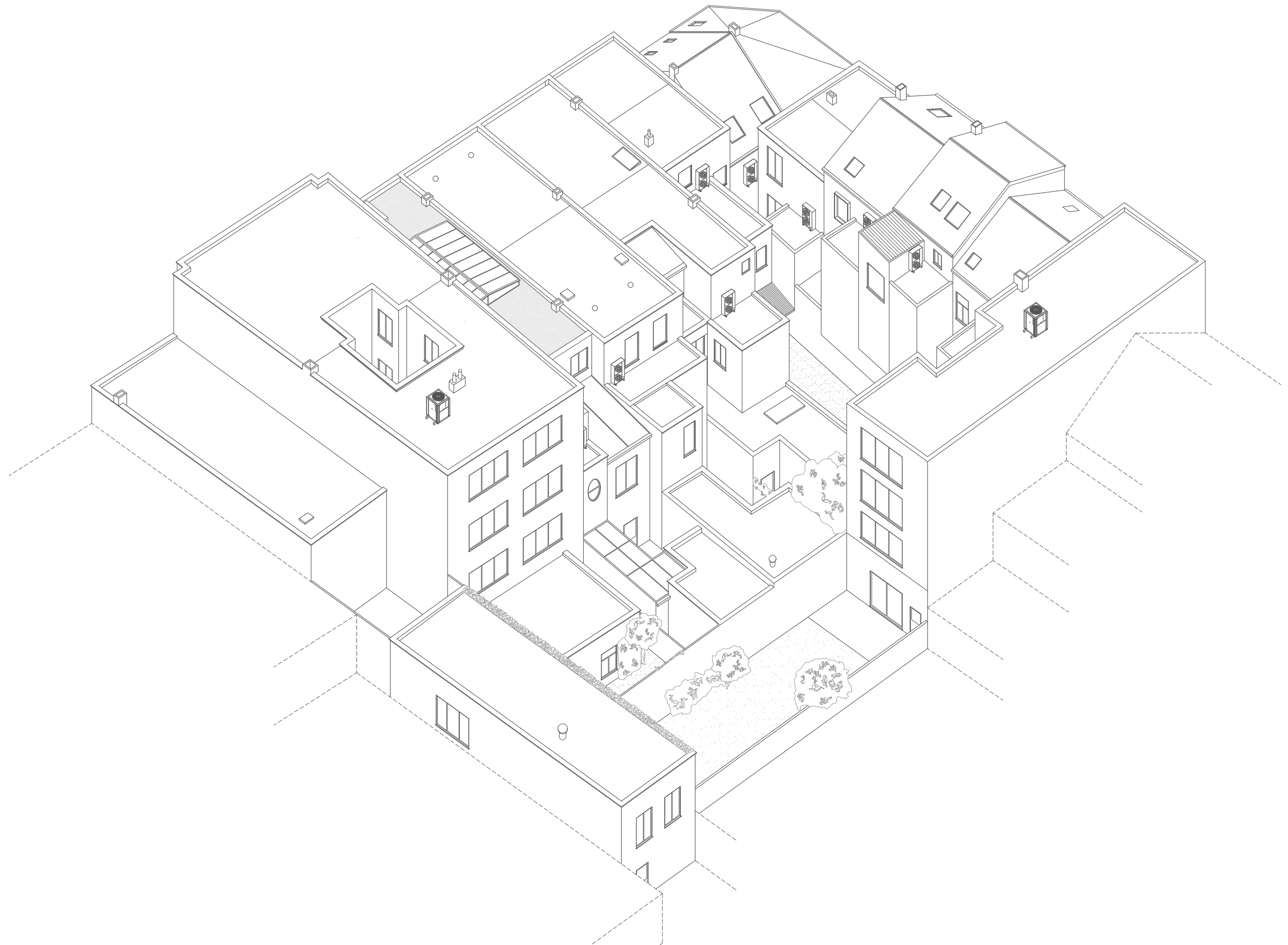
In de Pastorijstraat staan vier grotere en vier kleinere rijwoningen met een historisch waardevolle gevel. [Tekening 16] Het nodige vermogen voor de woningen van ongeveer 320 m² bedraagt 24 kW. [Tabel 16] Hiervoor is type Carrier 61AF 035 nodig.

De andere vier rijhuizen zijn te vergelijken met Pastorijstraat 51 en hebben allemaal een oppervlakte die tegen 210 m² aanleunt. Het type Daikin ERLQ016 CV3 volstaat hier.

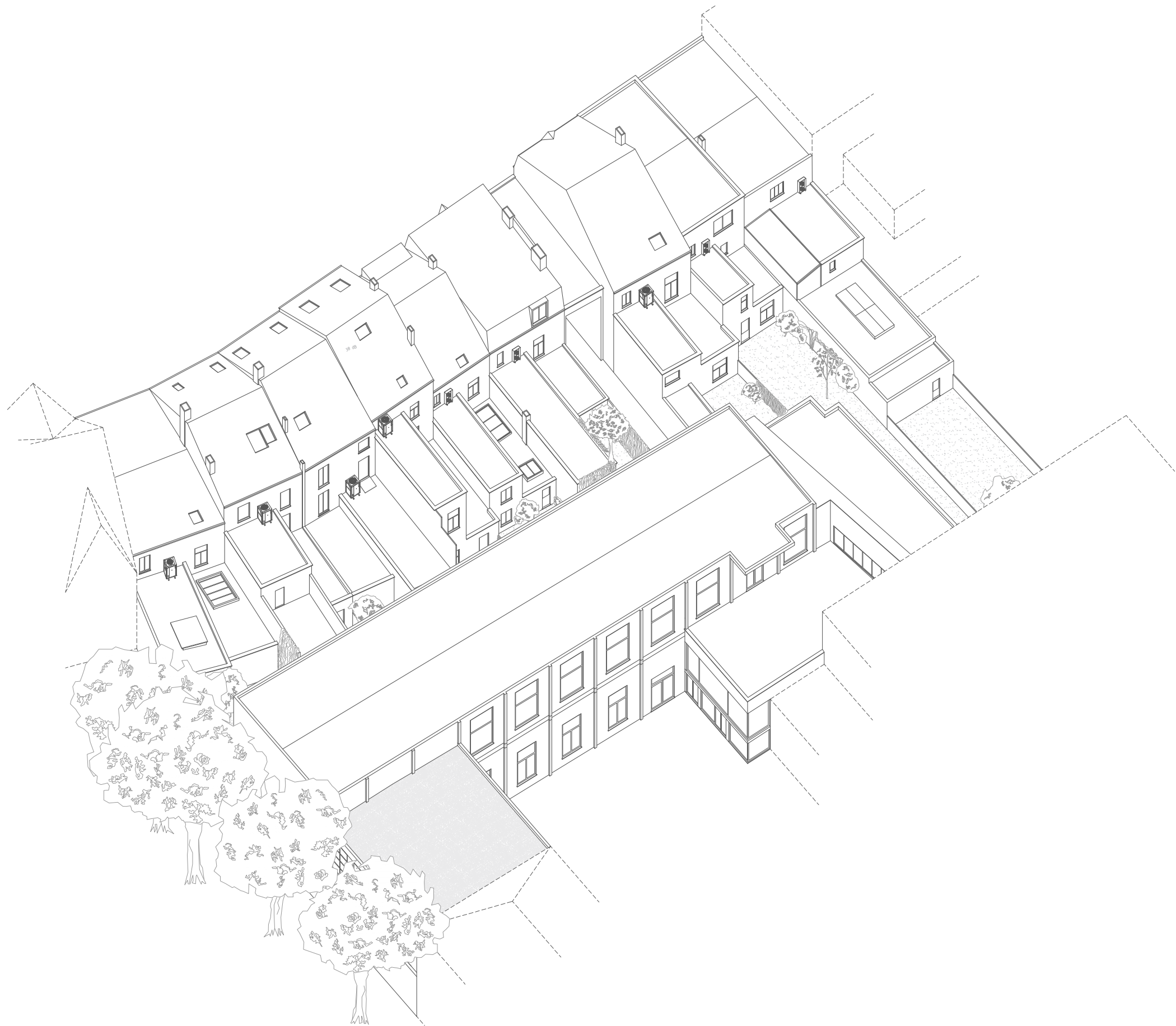
De integratie van de buitenunits kan zonder problemen gebeuren. De units worden geplaatst op de platte daken van de achterbouwen. Eventueel kan de unit ook achteraan in de tuin geïntegreerd worden, echter hierdoor vergroot de afstand tussen binnen- en buitenunit waardoor extra leidingen nodig zijn.

Hier kan dezelfde opmerking gemaakt worden als in de Pothoekstraat. Op volle kracht wordt een bepaald geluidsniveau gecreëerd. De combinatie van meerdere buitenunits in de binnengebieden kan, eventueel ook 's nachts, voor geluidsoverlast zorgen.

Afgeleid uit de twee tekeningen hebben alle woningen de mogelijkheid om een lucht/water-warmtepomp te installeren. Een individuele renovatie behoort dus tot de mogelijkheid. De renovatiekost kan de doorslaggevende factor zijn om te opteren voor een bepaalde strategie: warmtenet of individuele warmtepomp.



Tekening 15: integratie van de buitenunits van de lucht/water-warmtepompen (hoek Pothoekstraat en Lange van Bloerstraat)



Tekening 16: integratie van de buitenunits van de lucht/water-warmtepompen in de Pastorijsstraat

Financiële analyse: warmtenet – individuele warmtepomp

De installatie van lucht/water-warmtepompen gaat gepaard met de renovatie van de gebouwschil. De eerste en tweede renovatiestrategie blijven noodzakelijk om het energieverbruik voor verwarming binnen de perken te houden. Die investering blijft ongewijzigd in vergelijking met de integratie van het warmtenet. De FlexTherm Eco wordt ook hier ingezet voor de productie van sww waardoor de PVT-panelen voor de individuele aanpak essentieel blijven. In principe zouden PV-panelen volstaan omdat de opgewekte elektriciteit wordt omgezet in een vloeibare PCM in de batterij. De warmte die de PVT-panelen opwekken, wordt voor het warmtenet ingezet om de grond op te warmen, maar bij een lucht/water-warmtepomp is dit overbodig. In de zomermaanden kunnen de temperaturen in de PVT-panelen oplopen tot 45°C of meer en rechtstreeks ingezet worden voor verwarming. [68] De opgewekte elektriciteit kan dan ingezet worden voor andere elektrische toestellen in huis.

In de individuele aanpak worden de PVT-panelen ingezet samen met de FlexTherm Eco. Daarnaast wordt de renovatie van de gebouwschil op dezelfde manier uitgevoerd als bij het warmtenet zodat een financiële analyse met een gelijkwaardige basis wordt nagestreefd.

De verschillen verschijnen in hoofdzaak aan de opwekkingszijde. De financiële vergelijking tussen warmtenet met het gebruik van aard- en zonnewarmte en de lucht/water-warmtepompen kan doorslaggevend zijn voor de uiteindelijke keuze.

Bij de vergelijking worden drie verschillende residentiële woningen toegelicht. Het gaat over dezelfde type gebouwen als eerder vermeld:

- Pastorijstraat 29 met een historische gevel en een oppervlakte van 320 m².
- Pastorijstraat 51 met een historische gevel en een vloeroppervlakte van 211 m²
- Pothoekstraat 13-15: een appartementencomplex met 8 units met een vloeroppervlak van 724 m²

Voor alle constructies wordt zowel gekeken naar de toepassing van de eerste renovatiestrategie waarbij de voorgevel gevrijwaard wordt van thermische isolatie en de tweede renovatiestrategie die een volledig doolopende thermische schil aanbrengt.

De renovatiestrategie die in principe niet past bij het type gebouw geldt als rode draad voor andere gelijkwaardige gebouwen in de wijk. Op die manier worden alle verschillende woontypologieën aangehaald.

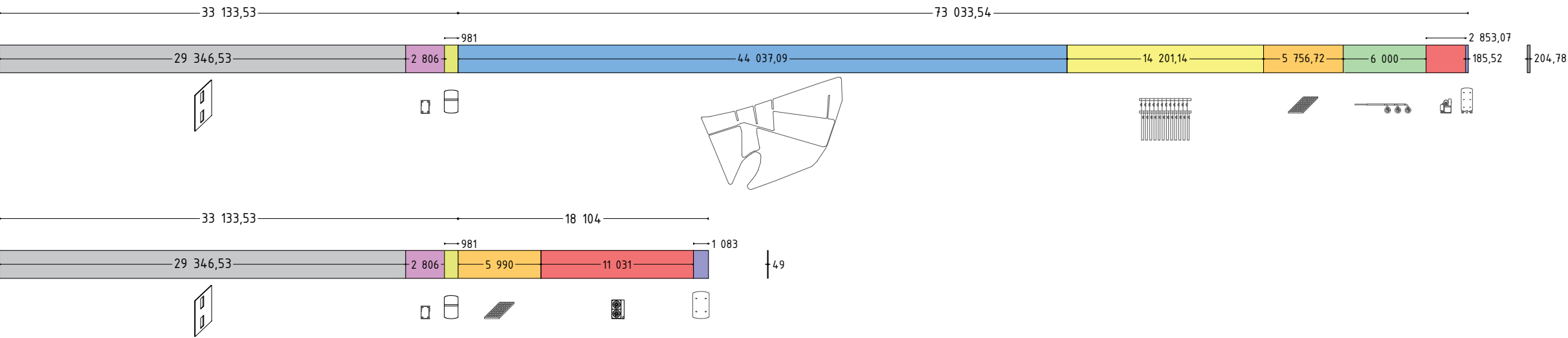
Op de volgende pagina staan enkele grafieken die inzicht geven in de totale kost voor een individuele unit zijnde een woning of een appartement. De residenties hebben allemaal een esthetisch waardevolle gevel¹.

Hieruit zijn enkele belangrijke conclusies te trekken: eerst en vooral valt het op dat de individuele aanpak met de lucht/water-warmtepomp economisch interessanter is dan de koppeling aan een warmtenet. Het aandeel in de collectieve kost van het warmtenet is minstens 154% duurder. Dit kleinste verschil is waar te nemen bij de grootste woning (320 m²). [Grafiek 9] Het opvallendste contrast is waar te nemen bij het appartement. Hoewel de aankoop van de warmtepomp financieel het zwaarst doorweegt komt het veruit als de beste uit de bus. De kost kan evenwaardig verdeeld worden over de acht units in het complex. Het warmtenet weegt financieel maar liefst 12,5 keer zo zwaar door. [Grafiek 8]

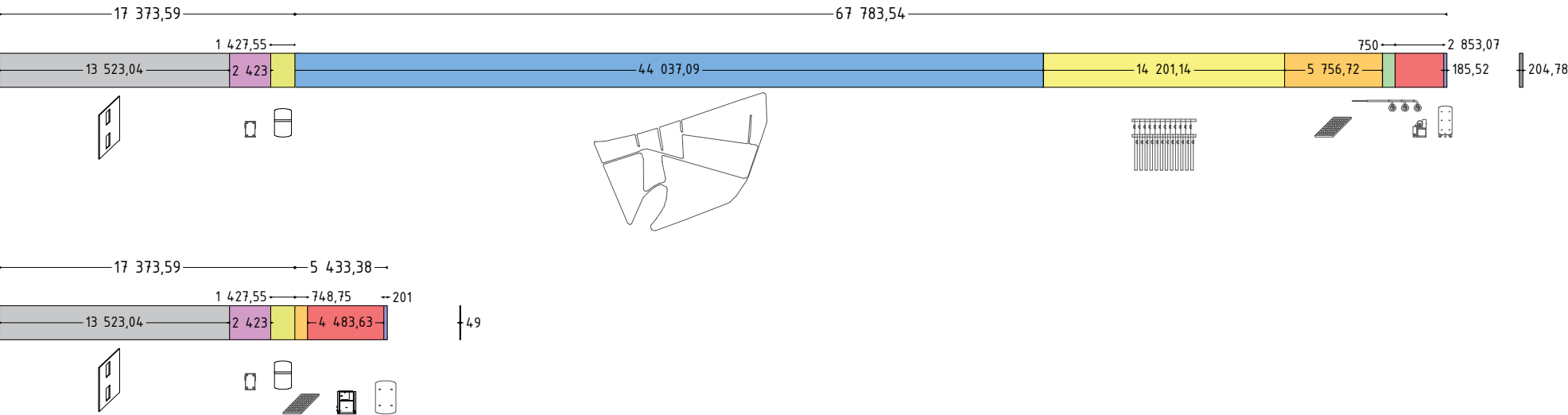
De kost voor de thermische schil en de productie van sww (grijs, roze en groen in de drie grafieken) is voor de vergelijking telkens gelijk.

¹ De exacte berekeningen zijn terug te vinden in bijlage: "Financiële analyse eerste renovatiestrategie: rijwoningen" op pagina 184 en "Financiële analyse eerste renovatiestrategie: appartementen" op pagina 192

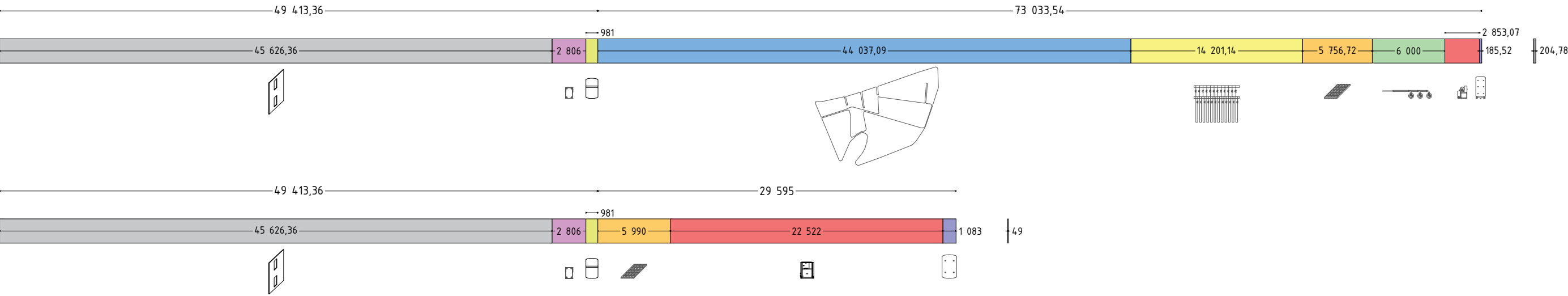
Vergelijking warmtenet met individuele renovatie: eerste renovatiestrategie



Grafiek 7: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (onder) voor een rijwoning met een oppervlakte van 211 m²



Grafiek 8: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (onder) voor een appartementencomplex met 8 units



Grafiek 9: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (onder) voor een rijwoning met een oppervlakte van 320 m²

Een gelijkaardige analyse kan gemaakt worden indien de vergelijking wordt gemaakt tussen het warmtenet en de individuele lucht/water-warmtepomp bij gebouwen zonder esthetisch waardevolle gevel (tweede strategie). De financiële uitwerking wordt weergegeven in Grafiek 10, Grafiek 11 en Grafiek 12¹.

De financiële ongelijkheid is nog extremer in vergelijking met de gebouwen waarbij de voorgevel gevrijwaard blijft van thermische isolatie. De extra kost om de thermische performantie van de voorgevel te verbeteren en dus een lager verwarmingsvermogen per m² te bekomen, komt de woning van 320 m² en het appartement ten goede. In deze gebouwen kan een warmtepomp met een lager vermogen geïnstalleerd worden wat resulteert in een lagere investeringkost. De stijging van de renovatiekost is kleiner dan de daling van de prijs van de warmtepomp waardoor de totale investering daalt. [Grafiek 11 en Grafiek 12]

Voor de woning van 211 m² geldt het omgekeerde. De extra isolatie betekent een extra totale kost. [Grafiek 10] De prijsdaling van de warmtepomp is niet zo spectaculair in vergelijking met de meerkost voor de toevoeging van isolatie.

Voor het appartement is opnieuw het grootste verschil op te merken. Dat betekent niet dat voor de andere gebouwen de ongelijkheid minder significant is. Indien het financiële verhaal doorslaggevend is, zou de installatie van het warmtenet niet interessant blijken.

Uit Grafiek 13 t.e.m. Grafiek 16 kan nog een belangrijke conclusie getrokken worden. De eerste twee grafieken zoomen in op gebouwen met een historisch waardevolle voorgevel. De twee laatste grafieken focussen op rijwoningen waarbij de volledige voorgevel thermisch ingepakt wordt. De laatste balk toont de kost indien de rijwoning door twee gezinnen wordt bewoond.

Voor de woning van 211 m² [Grafiek 13 en Grafiek 15] wordt centraal de kost weergegeven indien de individuele warmtepomp wordt gekozen in plaats van de collectieve warmtepomp. De onderste balk van dezelfde grafiek toont de investering indien de woning wordt gedeeld door twee gezinnen². De investeringskost halveert net niet doordat de productie van sww op individueel niveau blijft gebeuren.

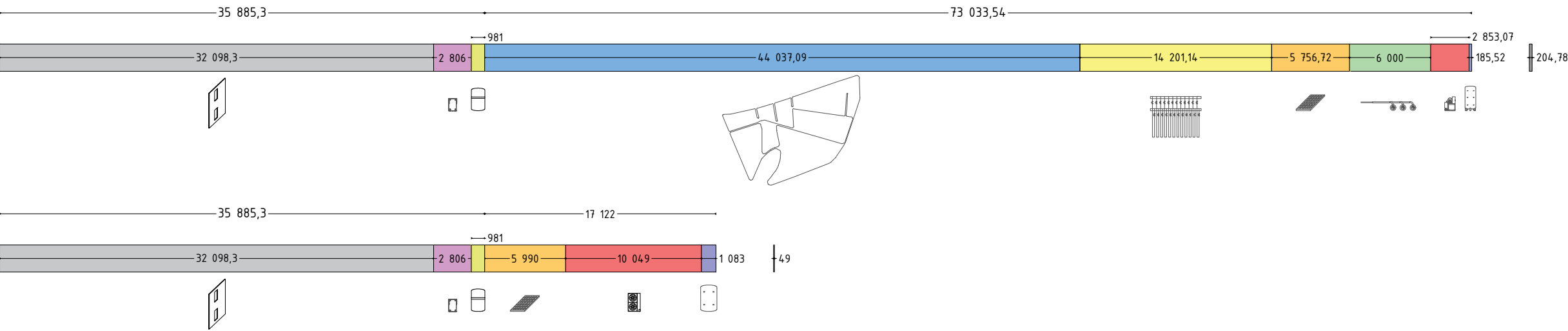
De kost voor de integratie van het warmtenet daalt vervolgens sterk (bovenste balk van Grafiek 13). Indien elke woning bewoont wordt door twee gezinnen, kan de totale kost gedeeld worden door een groter aantal gezinnen³ die een even groot aandeel van het warmtenet zouden dragen. De aansluitingskost is de enige kost die halveert. De andere financiële waarden dalen met 42% omdat er nog andere functies in de wijk zijn die niet gedeeld worden.

Hoe meer mensen van het warmtenet kunnen genieten, hoe voordeliger het warmtenet wordt. Er gelden wel enkele limieten: het warmtenet en de technische installaties zijn gedimensioneerd aan de hand van de bestaande woningen. De aantakking van een nieuwe wijk is enkel mogelijk indien de technische installaties worden geherdimensioneerd. Hetzelfde geldt voor de BEO-velden.

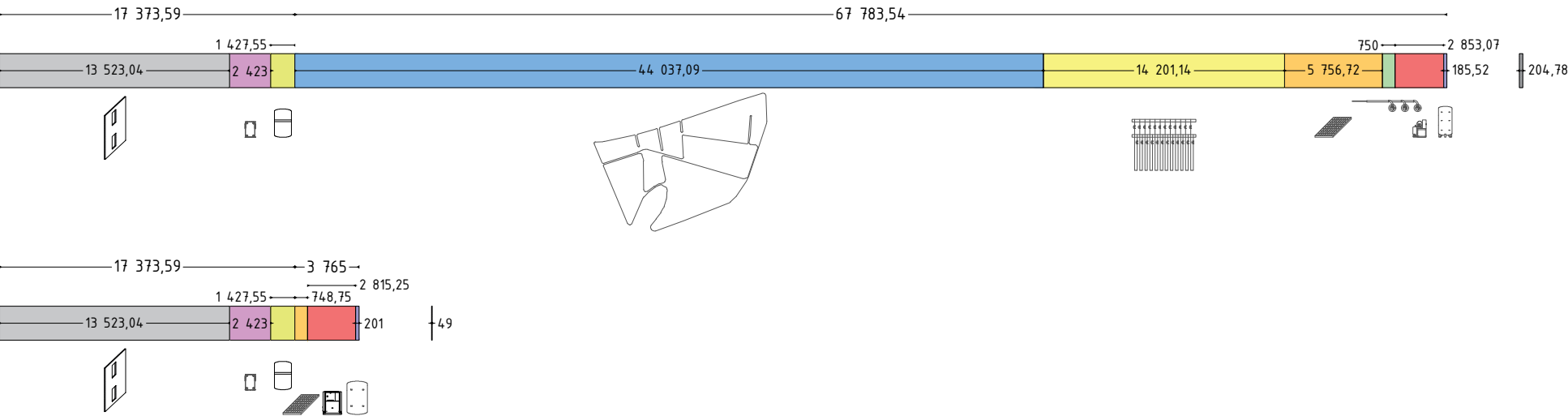
Ter vervollediging wordt dezelfde analyse weergegeven in Grafiek 14 en Grafiek 16 voor de rijwoning met een vloeroppervlakte van 320 m²¹. Ook hier daalt de investeringskost voor de renovatie van de rijwoning net niet met 50% doordat de opwekking van sww per gezin blijft gebeuren. De kost voor het warmtenet daalt in dezelfde mate als een kleinere woning.

Zoals reeds vermeld in de inleiding zijn er reeds gebouwen die bewoond worden door twee (soms drie) gezinnen. In het centrum van Antwerpen is open ruimte beperkt en worden huizen steeds duurder, vaak onbetaalbaar voor jonge gezinnen². Een gedeelde woning of een vorm van cohousing kan een oplossing bieden voor de financiële kant van het verhaal.

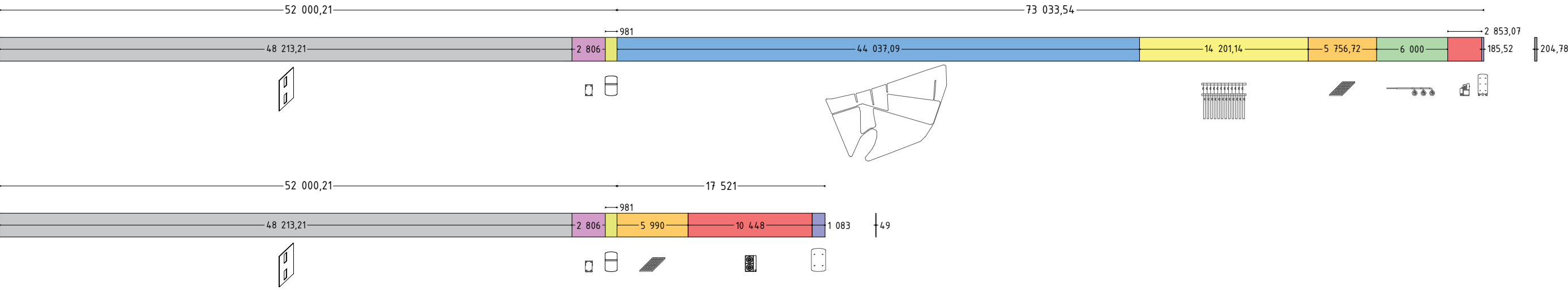
Vergelijking warmtenet met individuele renovatie: tweede renovatiestrategie



Grafiek 10: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (onder) voor een rijwoning met een oppervlakte van 211 m²

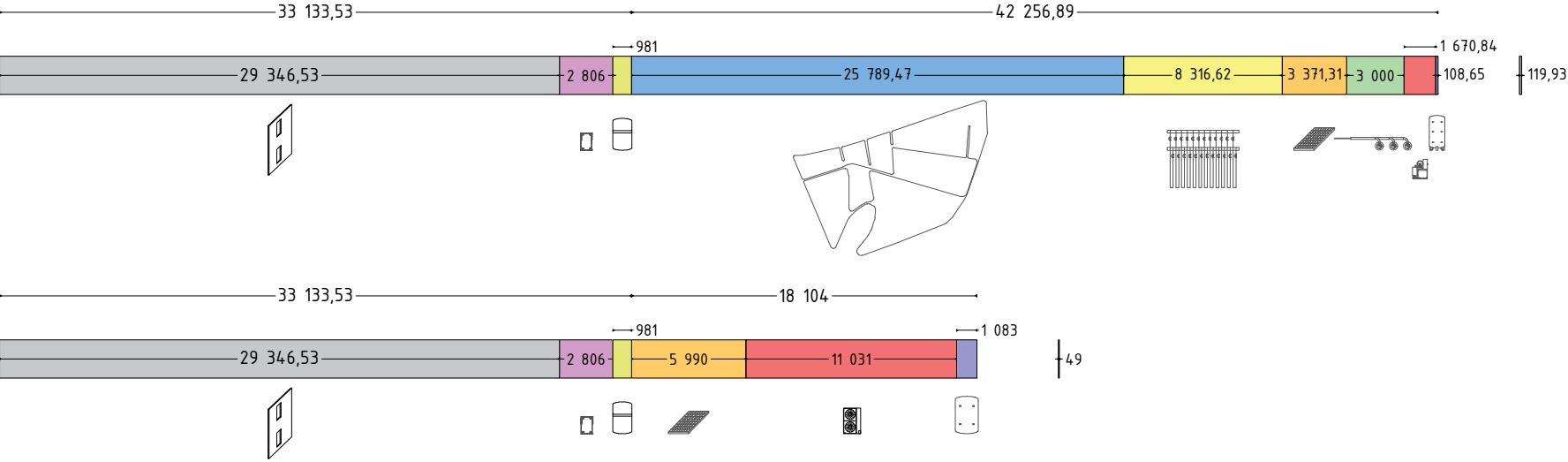


Grafiek 11: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (onder) voor een appartementencomplex met 8 units

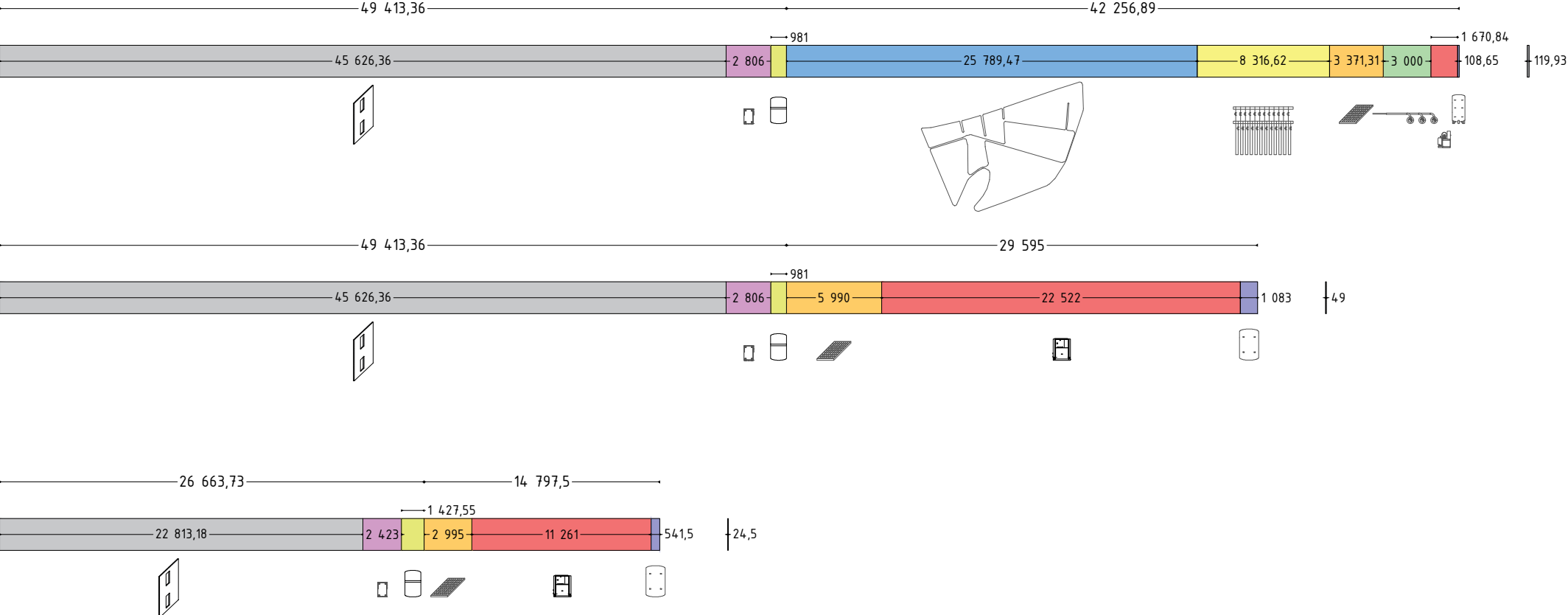


Grafiek 12: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (onder) voor een rijwoning met een oppervlakte van 320 m²

Vergelijking warmtenet met individuele renovatie indien bewoond door twee gezinnen: eerste renovatiestrategie

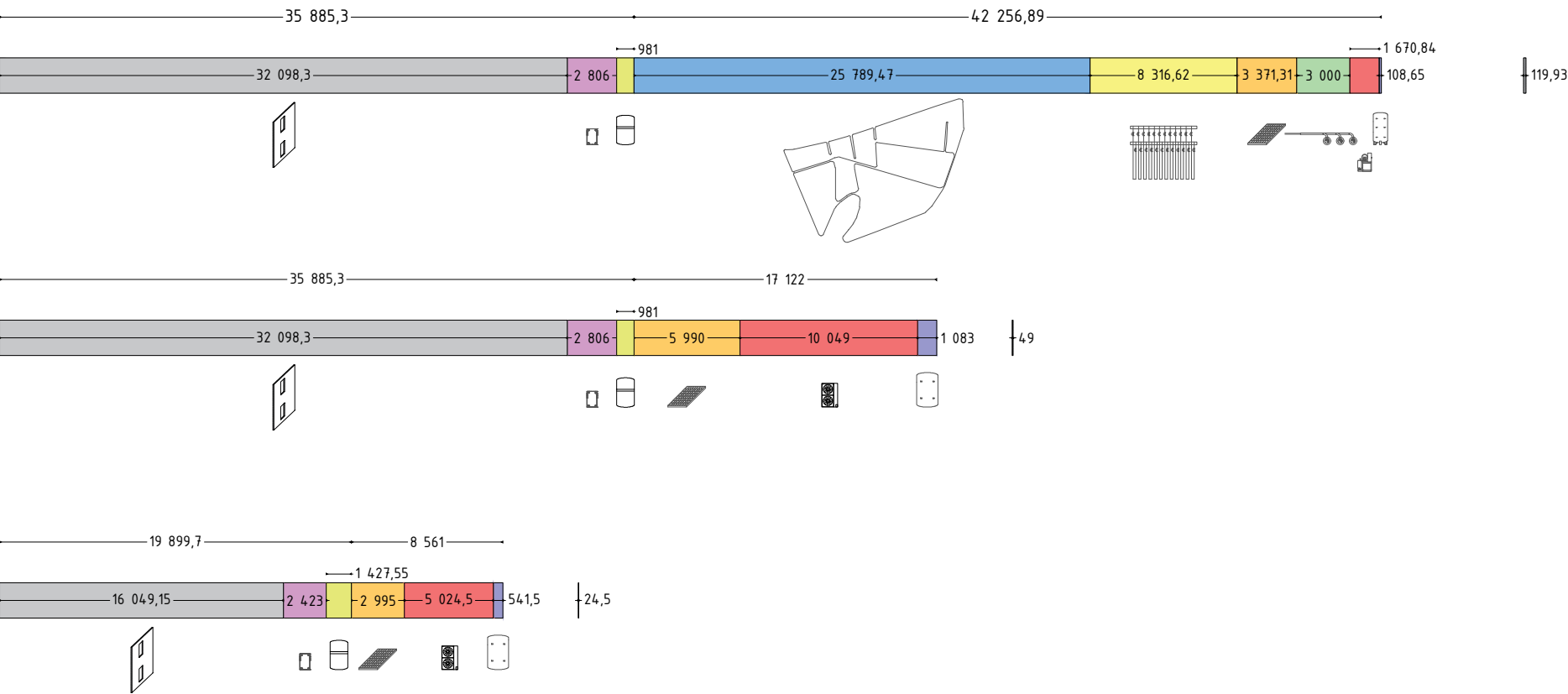


Grafiek 13: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (midden) en een gedeelde woning (onder) voor rijwoning met een oppervlakte van 211 m²

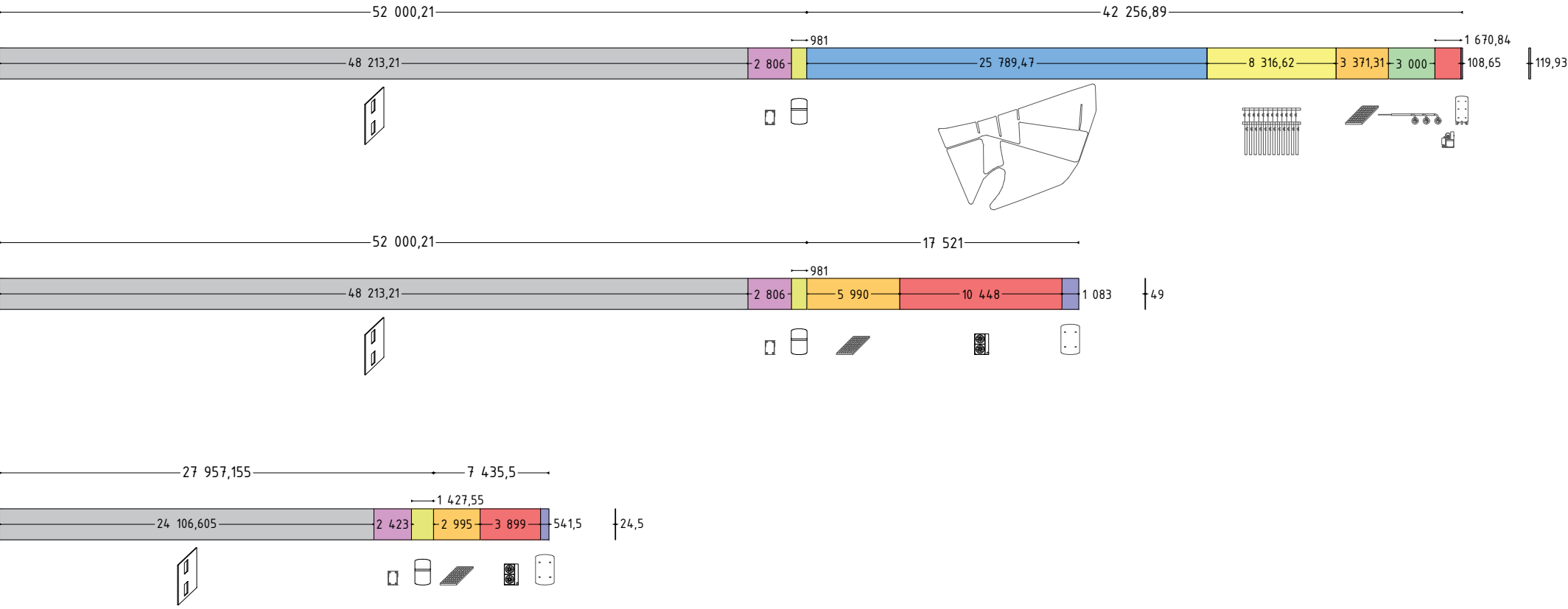


Grafiek 14: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (midden) en een gedeelde woning (onder) voor een rijwoning met een oppervlakte van 320 m²

Vergelijking warmtenet met individuele renovatie indien bewoond door twee gezinnen: tweede renovatiestrategie



Grafiek 15: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (midden) en een gedeelde woning (onder) voor een rijwoning met een oppervlakte van 211 m²



Grafiek 16: vergelijking collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (midden) en een gedeelde woning (onder) voor een rijwoning met een oppervlakte van 320 m²

Onderhoud

De twee verschillende renovatiestrategieën vergen ook onderhoudswerken. Om de levensduur van de toestellen optimaal te kunnen benutten, is een jaarlijks onderhoud wenselijk.

Voor de individuele warmtepomp wordt een jaarlijks onderhoud aangeraden door Daikin. Ze controleren alle verschillende componenten van de lucht/water-warmtepomp: compressor, condensor, kleppen, leidingen, ... Hierdoor kan het toestel optimaal benut worden en daalt de kans op grote vervangingswerken.

Het buffervat is gemakkelijk in onderhoud en heeft geen jaarlijkse check-up nodig. Hetzelfde geldt voor de FlexTherm Eco.

De jaarlijkse kosten blijven dus relatief beperkt. Voor een gezin zou dit 49 euro op jaarbasis bedragen. [86]

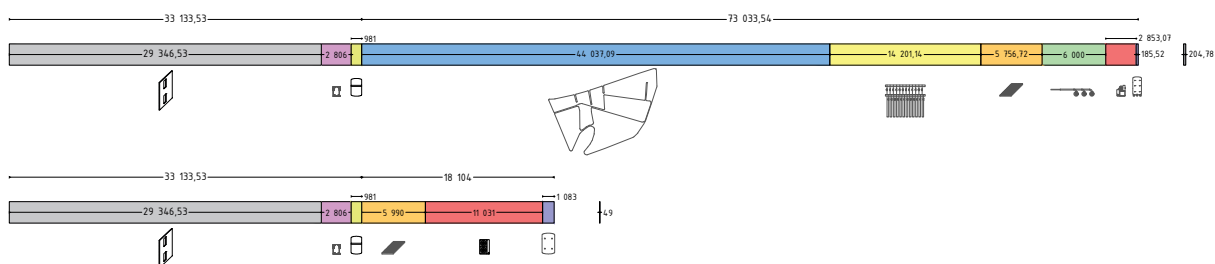
In de collectieve strategie zijn er enkele richtlijnen: zowel de grond/water-warmtepomp, de buffervaten en het leidingnetwerk vergen jaarlijks onderhoud. De kosten voor de technische installaties zijn moeilijk in te schatten omdat het gaat over toestellen die niet standaard op de markt gebracht worden.

De onderhoudskost voor het leidingennetwerk wordt ingeschat op basis van ervaringsgegevens van IVBO. [79]

Volgend overzicht geeft een inschatting van de kosten¹:

Installatie	Kost [79]	Jaarlijkse kost [€]
Warmtepomp	2,0 %	40 000
Buffervat	0,50 %	620,35
Leiding	€ 10 000/km	102 900

Tabel 18: onderhoudskost warmtenet



Grafiek 17: kosten voor een rijwoning van 211 m², eerste renovatiestrategie

De onderhoudskost voor een rijwoning bedraagt dus jaarlijks € 49 in de individuele strategie en ongeveer € 250 indien het warmtenet wordt uitgerold. [Grafiek 17] Voor een appartement blijft de kost van € 250 gelijk, maar in de individuele strategie wordt de 49 euro gedeeld door het aantal units. Hierdoor zou de onderhoudskost voor een appartement slechts € 6,15 bedragen.

Het onderhoud is slechts een kleine fractie in vergelijking met de installatiekost. Toch is het verschil in onderhoud opmerkelijk. Het warmtenet is voor een rijwoning vier keer duurder op jaarbasis. Voor een appartement is het zelfs 33 keer duurder.

Levensduur

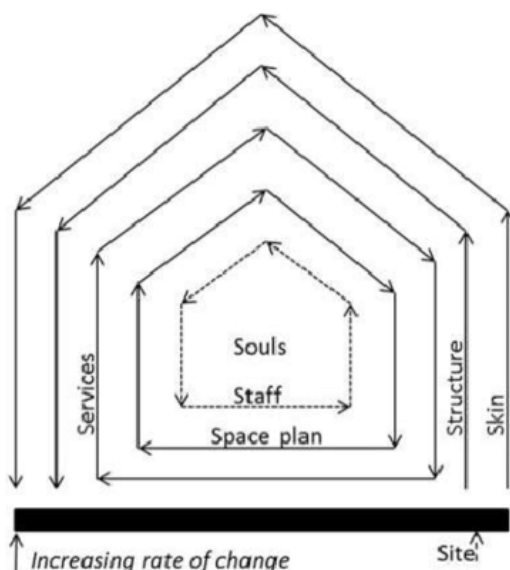
Uit de financiële analyse bleek het warmtenet, ongeacht de renovatiestrategie, niet te kunnen opboksen tegen de individuele renovatie. Maar de kosteninschatting is niet de enige factor die speelt.

De energetische renovatie van de 19de-eeuwse wijk probeert een duurzaam alternatief te bieden voor de toekomst. Momenteel is er enkel rekening gehouden met de integratie en de financiële kant van de renovatie. De termijn/duur van de installaties is nog niet in rekening gebracht. Een tweede bepalende factor is bijgevolg de levensduur van de energetische renovatie. Indien een bepaalde strategie maar 5 à 10 jaren zijn functie optimaal kan vervullen, is het project misschien niet voldoende rendabel. Welke systemen zijn het meest tijdsbestendig?

Om het warmtenet en de individuele energetische renovatie door middel van een lucht/water-warmtepomp in functie van de tijd te zetten, moet de levensduur van de verschillende componenten gekend zijn. De financiële kost kan vervolgens gedeeld worden over de volledige tijdsspanne van de installaties. De jaarlijkse investering per unit geeft een inschatting over de rendabiliteit van de collectieve en de individuele strategie.

De levensduur van de strategie hangt af van de levensduur van de componenten in het geheel. In 1994 werd in het boek "How Buildings Learn: What Happens After They're Built" van Stewart Brand de term Shearing Layers aangehaald, een concept mede uitgedacht door architect Frank Duffy. [87] Deze conceptuele benadering verdeelt de woning in zeven lagen met elk een gemiddelde tijdsspanne. [Figuur 50] Na die periode is het element, gemiddeld genomen, aan vervanging toe.

De site waarop gebouw staat, gaat eeuwig mee. De structuur gaat gemiddeld 30-300 jaar mee, afhankelijk van de gebruikte materialen. De gebouwschil moet gemiddeld na 20 jaar vervangen worden. De services of installaties variëren tussen de 7 en 20 jaren. Het gaat in hoofdzaak over toestellen die het comfort in de woning creëren zoals verwarmingselementen, buffervaten, leidingen, ed. Interieurafwerking zoals valse plafonds worden ingeschat op een drietal jaar. Stuff of spullen bijvoorbeeld meubels zijn meestal na minder dan drie jaar aan vervanging toe.



Shearing layers	Description	Typical lifespan/activity
Site	Location and context	Permanent
Structure	Bones	30-300 years
Skin	Envelope	20+ years
Services	Lifeblood	7-20 years
Space plan	Interior layout	3 years
Stuff	Furniture and equipment	Under 3 years
Souls	People	Daily

Figuur 50: Shearing Layers (Brand, 1994) [88]

In voorgaande figuur staan alle elementen opgesomd voor de individuele energetische renovatie. Het collectieve warmtenet heeft een aantal componenten die een specifieke levensduur hebben: de leidingen van het thermisch net, de grondboringen van het BEO-veld en de PVT-panelen.

De leidingen in het warmtenet en de grondboringen hebben de langste levensduur van alle elementen in de collectieve aanpak en worden geschat op 50 jaar. [89] [90] PVT-panelen hebben een levensduur van 30 jaar wat ervoor zorgt dat de investering van de panelen terug te verdienen is in de tijd. Ten slotte zijn er nog twee installaties niet aangehaald in de collectieve strategie: de warmtepomp en de buffervaten. Deze componenten vallen onder de noemer van "services" uit Figuur 50 en dienen na 7-20 jaar vervangen te worden. De meeste warmtepompen gaan momenteel 20 jaar mee. De exacte levensduur van het gekozen type is moeilijk in te schatten.

De opgesomde vermelde levensduur is telkens een inschatting want hangt af van het onderhoud en het type toestel.

De volgende tabel geeft een overzicht van de levensduur van de geïnstalleerde componenten voor het warmtenet:

Component	Levensduur [jaren]
Leidingennetwerk warmtenet	50
Aansluiting gebouwen	50
BEO-veld	50
Grond/water-warmtepomp	20
Buffervat	20
PVT-panelen	30

Tabel 19: levensduur in jaren van de verschillende componenten van het warmtenet

De volgende tabel geeft een overzicht van de levensduur van de geïnstalleerde componenten voor de individuele renovatie:

Component	Levensduur [jaren]
Lucht/water-warmtepomp	20
Buffervat	20
PVT-panelen	30

Tabel 20: levensduur in jaren van de verschillende componenten van de individuele renovatiestrategie

Ten slotte werden er aanpassingen uitgevoerd aan de rijwoningen en de appartementen: het verbeteren van de thermische performantie van de gebouwschil en de productie van sww door middel van de FlexTherm Eco. Deze elementen zijn ook aan vervanging toe na een bepaalde periode.

De levensduur van de schil werd ook aangehaald in Figuur 50 en wordt geschat op 20 jaar. De levensduur van de afwerkingsmaterialen in het interieur zoals de keramische tegels werd vastgelegd op 3 jaar volgens Shearing Layers, maar uit Totem¹ blijkt dat de levensduur, afhankelijk van het type, tot 60 jaar kan oplopen. Gemakkelijkheidshalve wordt er rekening gehouden met 20 jaar hetzelfde als de gebouwschil.

De FlexTherm Eco en het gekoppeld buffervat valt ook onder "services". Een levensduur van 20 jaar is haalbaar indien de toestellen voldoende onderhouden worden.

De volgende tabel geeft een overzicht:

Component	Levensduur (jaren)
Gebouwschil	20
FlexTherm Eco	20
Buffervat	20

Tabel 21: levensduur in jaren van de verschillende componenten van de renovatie van het gebouw

De financiële analyse van de levensduur wordt op de volgende pagina in grafieken gegoten. De drie types gebouwen zijn dezelfde zoals reeds enkele keren aangehaald:

- Pastorijsstraat 51: een rijwoning met een esthetische voorgevel en een oppervlakte van 211 m²
- Pothoekstraat 13-15: een appartementencomplex met acht units
- Pastorijsstraat 29: een rijwoning met een esthetische voorgevel en een oppervlakte van 320 m²

Uit Grafiek 18 is af te leiden dat de jaarlijkse kost voor het warmtenet nog steeds hoger is in vergelijking met de individuele renovatie². De leidingen van het warmtenet vormen de grootste investering. Jaarlijks vraagt dit een investering van € 880, hetgeen al meer is dan de jaarlijkse kost voor de lucht/water-warmtepomp, PVT-panelen en buffervat samengeteld bij de individuele aanpak.

De jaarlijkse investering voor de grond/water-warmtepomp en het buffervat is op zich lager dan de lucht/water-warmtepomp en het individuele vat. Los van het netwerk blijkt dat collectieve technische installaties financieel interessanter blijken te zijn op lange termijn.

Voor het appartement is het verschil nog extremer³. [Grafiek 19] De kost voor het collectieve netwerk op lange termijn blijft oninteressant. De individuele renovatie op jaarbasis is 2,23 keer lager. Indien enkel de opwekkingszijde wordt beschouwd, ligt de kost zelfs 8,1 keer lager. Indien enkel rekening wordt gehouden met de rode kleur (de warmtepomp en de buffervaten) is het warmtenet ongeveer even interessant dan het warmtenet. Op lange termijn is het collectieve net plots interessant geworden.

Bij de woning van 320 m² liggen de kosten verspreid in de tijd dicht bij elkaar⁴. [Grafiek 20] De historisch waardevolle voorgevel werd gevrijwaard van thermische isolatie. Hierdoor lag de

⁴ De exacte berekeningen zijn terug te vinden in bijlage: "Financiële analyse eerste renovatiestrategie: rijwoningen" op pagina 184

verwarmingsbehoefte per m² op 120 kWh/m²/jaar. [59] De ruime woning heeft dus nood aan lucht/water-warmtepomp met een hoog vermogen. De prijs loop hiervan al snel op. Op 20 jaar, de gemiddelde levensduur van zo'n toestel, blijft de kost ook relatief hoog.

In het thermische netwerk wordt er rekening gehouden met de collectieve verwarmingsbehoefte waardoor het warmtenet interessanter is voor een grote woning met een esthetische voorgevel. De kost voor het warmtenet uitgezet in de tijd bedraagt hier 1 628,58 euro. De individuele strategie vergt een jaarlijkse investering van € 1 379,92. De kosten voor de lucht/water-warmtepomp (onderste balk, Grafiek 20) liggen in dezelfde lijn als de kosten voor de leidingen van het netwerk, de grond/water-warmtepomp, de buffervaten en de aansluiting naar de woning samen.

Globaal gezien blijft een grondige energetische renovatie met aandacht voor de architecturale waarden van de woningen een zware investering. De volgende tabel geeft een samenvattend overzicht voor de drie gebouwen:

Type gebouw	Warmtenet		Individueel	
	Jaarlijkse investering [€]	Totale investering [€]	Jaarlijkse investering [€]	Totale investering [€]
Pastorijstraat 29	3 936,51	119 192,06	3 687,85	75 753,52
Pastorijstraat 51	3 200,84	104 478,83	2 377,63	49 549,29
Pothoekstraat 13-15	2 436,37	85 859,29	1 092,04	21 840,75

Tabel 22: overzichtstabel kosten warmtenet en individuele strategie

Het verschil tussen de tweede en vierde kolom is opvallend kleiner dan het verschil tussen de derde en de vijfde kolom van Tabel 22. Het opvallende contrast van de totale investering daalt redelijk sterk indien de kosten over de volledige levensduur verspreid worden. Hieruit wordt duidelijk dat over lange termijn het warmtenet effectief rendabel blijkt te zijn.

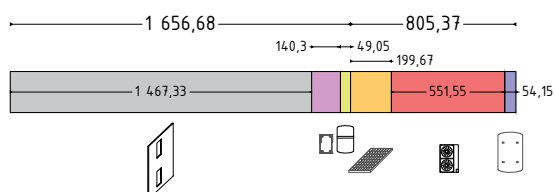
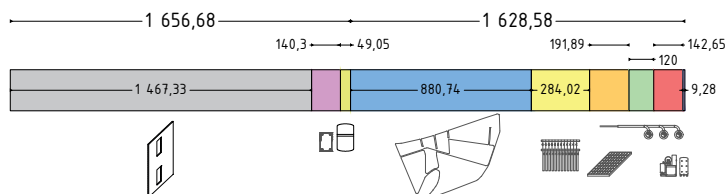
Ten slotte speelt de productie van de technische elementen mee. Het duurzaamheidsvraagstuk kan op verschillende vlakken bekeken worden. De opwekking van energie is veruit de belangrijkste, maar de technische installaties moeten ook geproduceerd worden. Voor het warmtenet betekent dit bijvoorbeeld dat er om de 20 jaren tien warmtepompen moeten gebouwd worden. Het productieproces vergt grondstoffen, energie, transport naar de werf, etc.

In de individuele strategie hebben 701 gebouwen in de wijk een nieuwe warmtepomp nodig eens in de 20 jaar. Dat vergt meer grondstoffen, meer energiegebruik in het productieproces, meer transport, ... Hetzelfde kan gezegd worden over de buffervaten voor verwarming.

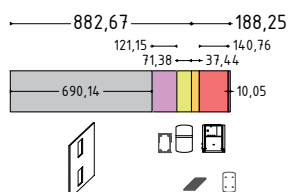
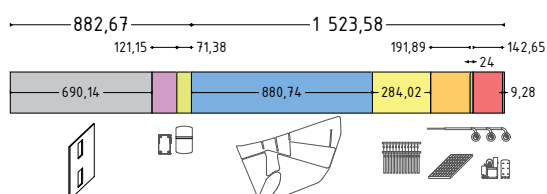
De leidingen van het warmtenet en de grondboringen zijn veel tijdsbestendiger. Mits grondig onderhoud kunnen leidingen nog langer meegaan dan de vooropgesteld 50 jaren waarmee ze niet snel vervangen moeten worden.

De precieze inpakt kan onderzocht worden door tal van duurzaamheidsmeters zoals GRO of BREEAM, maar wordt verder niet aangehaald in deze masterproef.

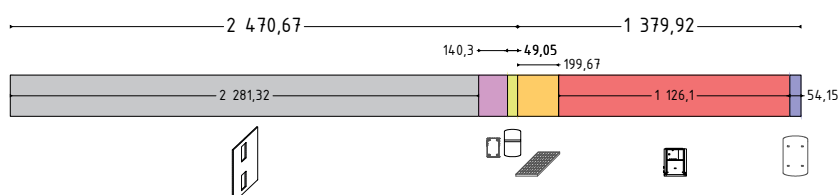
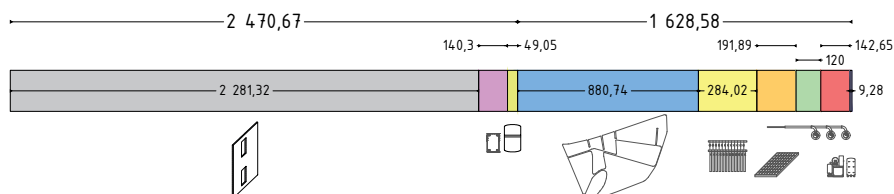
Vergelijking jaarlijkse investering warmtenet en individuele renovatie



Grafiek 18: vergelijking jaarlijkse investering warmtenet (boven) met individuele warmtepomp (onder) voor een woning met een esthetische voorgevel van 211 m²



Grafiek 19: vergelijking jaarlijkse investering collectief warmtenet (boven) met individuele lucht/water-warmtepomp (onder) voor een appartementencomplex met 8 units



Grafiek 20: vergelijking jaarlijkse investering warmtenet (boven) met individuele warmtepomp (onder) voor een woning met een esthetische voorgevel van 320 m²

Akoestiek

Inleiding

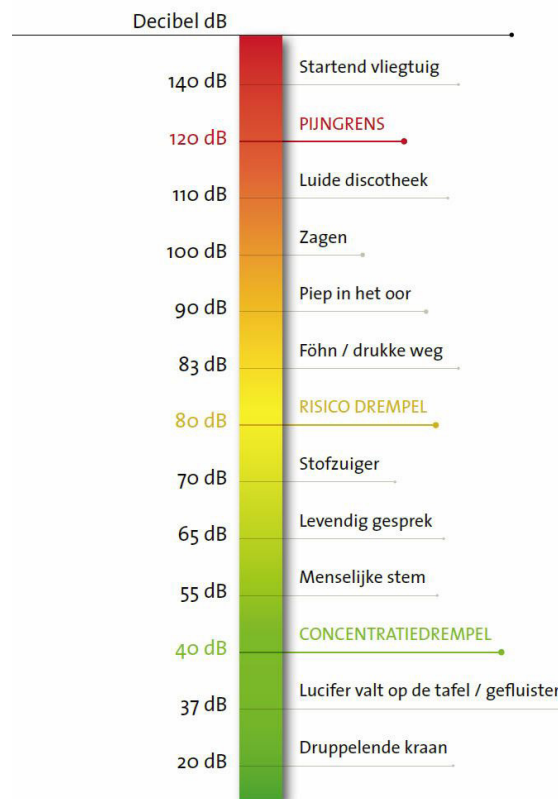
Naast het behalen van het binnenhuiscomfort, de integratie en de investering speelt ook het geluidsniveau een rol. Geluiden in de stad zoals straatlawaai, verkeer, burelen, ... worden snel als storend ervaren. Om het akoestisch comfort te garanderen moet het geluidsniveau voldoende laag blijven.

Geluidsgolven worden opgevangen door het oor en zijn afhankelijk van de frequentie (het aantal golven) en de geluidsdruk (de amplitude van de golf). De geluidssnelheid is afhankelijk van het medium waarin zich de golven voordoen. In de lucht, bij kamertemperatuur, is de snelheid c ongeveer 340 m/s.

Een eerste term in akoestiek is geluidsvermogeniveau (L_{wa}). Dit is het geluid dat een bepaald toestel uitzendt. Geluidsdruk¹, de tweede term, is een snelle drukvariatie in de lucht rondom de heersende statische druk en varieert zeer sterk in de praktijk. De laagste hoorbare waarde bedraagt ongeveer 10^{-5} Pa. Maar bij een explosie kan die waarde oplopen tot 10^4 Pa. Door de uiteenlopende range wordt de geluidsdruk omgerekend naar een logaritmische waarde: SPL of het geluidsdrukniveau. Het geluidsdrukniveau is het geluid dat men ervaart op een bepaalde afstand van de geluidsbron. [92]

Zowel L_{wa} als SPL worden uitgedrukt in dB.

Een decibelmeter registreert het geluidsniveau. Volgende schaal geeft aan welk geluidniveau bij een bepaalde activiteit hoort. Een gesprek schommelt rond de 65 dB. De pijngrens schommelt rond de 120–130 dB [92].



Figuur 51: geluidsniveau met bijhorende activiteiten

1 De IS-eenheid van geluidsdruk is Pa

Wetgevend kader

Het WTCB heeft een document gepubliceerd waarin geluidslimieten worden opgesteld voor warmtepompen. Voor L_{wa} en L_{pa} gelden andere regels: [93]

De maximale waarde van het L_{wa} van de buitenunits is Europees vastgelegd en afhankelijk van het verwarmend vermogen:

- Voor toestellen met een nominale warmteafgifte ≤ 6 kW mag L_{wa} maximaal 65 dB bedragen.
- Voor toestellen met een nominale warmteafgifte ≤ 12 kW mag L_{wa} maximaal 70 dB bedragen.
- Voor toestellen met een nominale warmteafgifte ≤ 30 kW mag L_{wa} maximaal 78 dB bedragen.

Het geluidsvermogeniveau schommelt in de meest courante modellen tussen de 50 en 65 dB.

Het L_{pa} heeft ook een maximale waarde voor warmtepompen. Omgevingslawaai is een gewestelijke bevoegdheid waardoor de eisen afhankelijk zijn de locatie. Daarnaast wordt er een onderscheid gemaakt tussen warmtepompen met en zonder meldings- of vergunningsplicht.

In het Vlaamse Gewest is een meldings- of vergunningsplichtige warmtepomp onderworpen aan de geluidslimieten voor ingedeelde inrichtingen¹ die vermeld worden in het "Besluit van de Vlaamse Regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne" (VLAREM II). Hieraan zijn eisen in verband met L_{pa} gekoppeld.

Voor kleinere toestellen die de lucht of een horizontale bodemwarmtewisselaar als warmtebron hanteren is er geen vergunningsplicht noodzakelijk. Op lokaal niveau, in het Vlaams Gewest, gelden er geen exacte geluidseisen. Ze kunnen eventueel wel opgelegd worden via bouwvergunningen of plaatselijke politieverordeningen.

In VLAREM II wordt een oplijsting gemaakt van de geluidsnormen in open lucht. Deze waarden gelden als een aanvaardbaar geluidsniveau in de buitenomgeving. De normen zijn afhankelijk van het gebied en de tijd van de dag. De wijk bevindt zich in woongebied en de warmtepomp zal 's nachts ook draaien waardoor de strengste eis $L_{pa} \leq 35$ dB op een afstand van 10 m bedraagt. [94]

Deze waarde moet worden afgetoetst aan de geluidsproductie van de warmtepompen die wel een vergunningsplicht nodig hebben.

De huidige normen in verband met de geluidsproductie van warmtepompen vertonen veel achterpoortjes. De Vlaamse eisen zijn niet van toepassing op alle types warmtepompen en de akoestische norm NBN S 01-400-1 voor woongebouwen bevat geen geluidseisen voor buiten geplaatste installaties. Daarnaast kunnen kleinere warmtepompen ook een hevig geluid produceren en voor aanzienlijke geluidsoverlasten zorgen.

¹ Dit zijn activiteiten, uitrustingen of producten die gevolgen kunnen hebben voor het milieu en hun omgeving en waarvoor men een milieuvergunning nodig heeft of een aangifte moet doen om ze te mogen uitoefenen of gebruiken.

Wijkonderzoek

Net omdat er veel lacunes in de normen zitten, is het maximale geluidsniveau moeilijk in te schatten. De vergunningsplicht is verplicht voor grote toestellen, maar vanaf welk vermogen is een warmtepomp groot? Volgend overzicht vat L_{wa} en L_{pa} samen van de gebruikte toestellen in de individuele renovatiestrategie:

Type	Vermogen [kW]	T-regime [°C]	Dimensies HxDxL [mm]	L_{wa} [dB]	L_{pa} [dB] ¹
Carrier 61AF 035	32,6	30/35	1330 x 1327 x 1110	83	51
Carrier 61AF 075	64,9	30/35	1330 x 2100 x 2273	84	52
Daikin ERLQ011CV3	11,38	30/35	1345 x 320 x 900	64	36 ²
Daikin ERLQ014CV3	14,55	30/35	1345 x 320 x 900	64	36
Daikin ERLQ016CV3	16,10	30/35	1345 x 320 x 900	66	38

Tabel 23: geluidsvermoggenniveau en geluidsdrukniveau van de warmtepompen

Het vermogen van de Carrier-toestellen valt buiten de opgelegde grenzen (≥ 30 kW) waardoor er geen geluidsnorm bestaat voor deze toestellen. De apparaten van Daikin voldoen aan de Europese normen in verband met L_{wa} .

Voor L_{pa} gelden er enkel normen voor warmtepompen met een vergunningsplicht. In principe gaat het over warmtepompen die de lucht als warmtebron gebruiken en een relatief klein vermogen hebben. Een vergunning is normaal gezien dus niet noodzakelijk. Toch is het interessant om te kijken naar de normen die worden opgelegd in woongebieden. De strengste eis is, zoals eerder vermeld, 's nachts.

Om een correcte inschatting te maken, is het beter om het geluid te meten op minstens 3,5 m van de gevel om reflecties door de aanwezigheid van structuren te vermijden.

Ten slotte kunnen geluidsdrukniveaus ook opgeteld worden. Indien een aantal toestellen bij elkaar staan versterken ze elkaar. Het is niet correct om te zeggen dat twee toestellen van 36 dB naast elkaar een uiteindelijk geluidsdrukniveau van 72 dB produceren. Enkele simpele basisregels zijn van toepassing in akoestiek: [77]

Verskil in SPL [dB]	Optellen bij de hoogste waarde [dB]
0 of 1	3
2 of 3	2
4 tot 9	1
10 of meer	0

Tabel 24: som van geluidsdrukniveaus

1 Het geluidsdrukniveau op 10 m van de buitenunit van de warmtepomp. [Technische fiche 7]

2 Het geluidsdrukniveau werd berekend. In de technische fiche stond enkel een geluidsdrukniveau op een afstand van 1m. [Technische fiche 8] Hiervoor werd de formule gebruikt die de verhouding tussen L_{pa} en L_{wa} weergeeft: $L_{pa} = L_{wa} - 20\log(d) - 8\text{dB}$, met d de afstand tot de buitenunit. [95]

Indien elke woning een individuele lucht/water-warmtepomp plaats, komen veel geluidsbronnen samen in de binnengebieden. Het plaatsen van één buitenunit in een volledig wijk valt niet direct op, maar wanneer tot wel elf units samenkomen in een hoek van het binnengebied, zou het akoestisch comfort kunnen dalen.

In Tekening 17, zoals vermeld in "Alternatieve energetische renovatie", de warmtepompen allemaal werken op hetzelfde moment, produceren ze een welbepaald geluid. De aangegeven geluidsdruk niveaus worden gemeten op 10 m, een voldoende grote afstand om reflecties te vermijden. De toestellen van de woningen hebben allemaal een L_{pa} van 36 dB [Tabel 23], hetgeen overeenkomt met gefluister. [Figuur 51] De Vlaamse norm, waarbij $L_{pa} \leq 35$ dB op een afstand van 10 m, wordt net niet gehaald. Van zodra de afstand tot de buitenunit daalt, zal het geluidsdruk niveau toenemen.

De normering zegt iets over het geluidsdruk niveau op een afstand van 10m. In de binnengebieden is de diepte van de tuin vaak kleiner dan 10m. Het geluidsdruk niveau is dus hoger dan 36 dB. De integratie van verschillende toestellen kan een intenser geluid voortbrengen gezien de sommatie uit Tabel 23.

In Tekening 17 zijn enkele warmtepompen dicht op elkaar geïnstalleerd. Er zijn dus bepaalde punten of gebieden, aangeduid in grijze en zwarte volle lijnen, waar verschillende geluidsbronnen hetzelfde geluidsdruk niveau produceren. Hierdoor zal het geluidsniveau met 3 dB stijgen. Op bepaalde plaatsen komt het geluid van vier warmtepompen samen. Dat betekent: $36 \text{ ' + ' } 36 \text{ ' + ' } 36 \text{ ' + ' } 36 = 39 \text{ ' + ' } 39 = 42 \text{ dB}$. Dat is een stijging met 6 dB en hierbij is de concentratiedrempel overschreden [Figuur 51] en wordt de Vlaamse norm niet behaald.

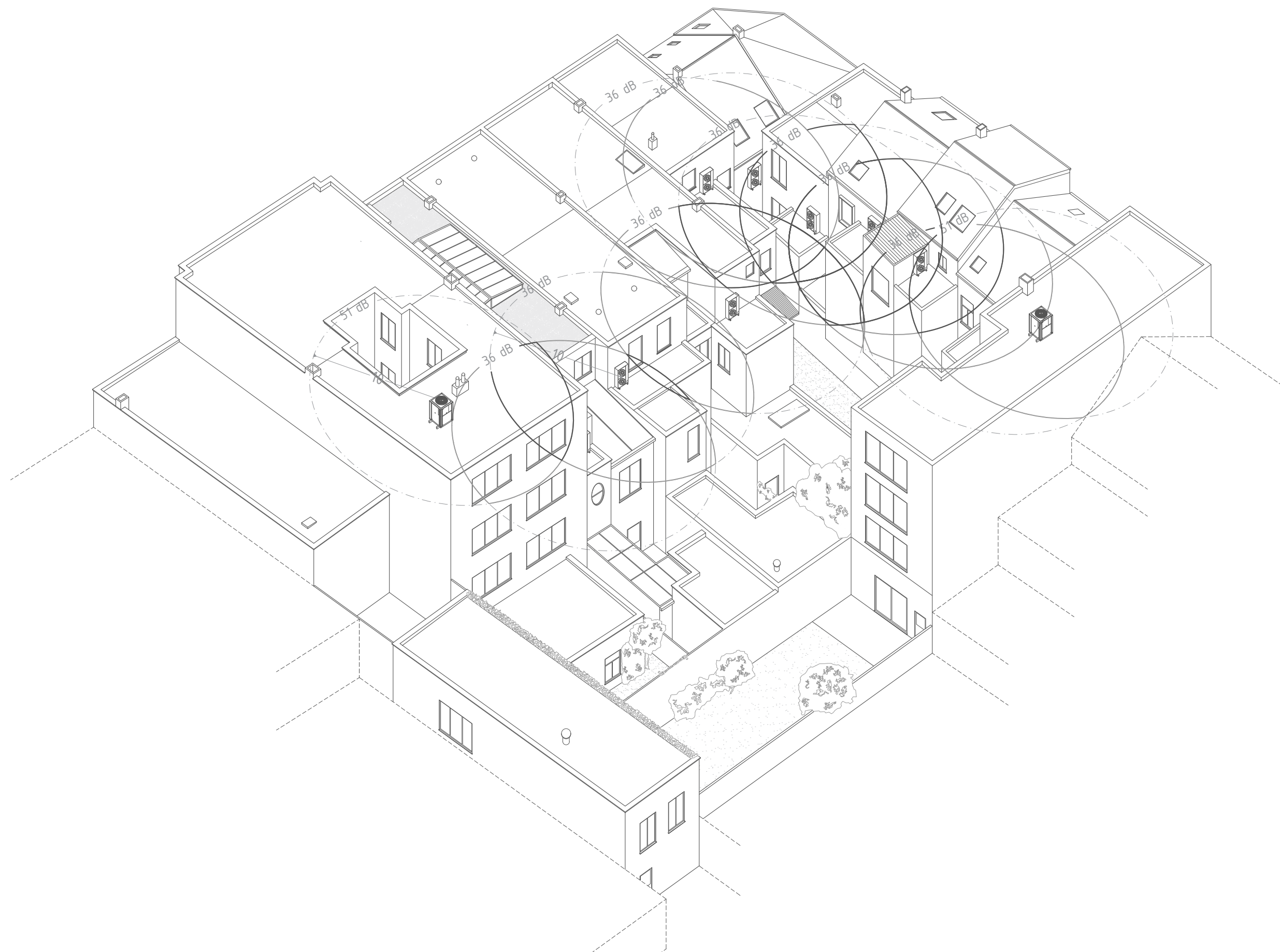
De appartementen in Tekening 17 hebben een warmtepomp met een hoger vermogen op het dak staan. De buitenunit produceert 51 dB op een afstand van 10 m, opvallend hogere waarde dan de andere warmtepompen. Het toestel staat op het dak waardoor de afstand tot de tuin in vergelijking met de woningen groter is en de intensiteit daalt.

Bovendien valt er nog iets op. Het appartement links op de tekening heeft een centraal binnengebied waaraan enkele (slaapkamer)ramen liggen. Indien de warmtepomp 's nachts in gang schiet, is er een geluidsdruk niveau van ongeveer 51 dB in de kamer te horen. Dit geluid komt overeen met een stem en kan erg overheersend zijn. Zeker als in de zomermaanden de ramen open staan.

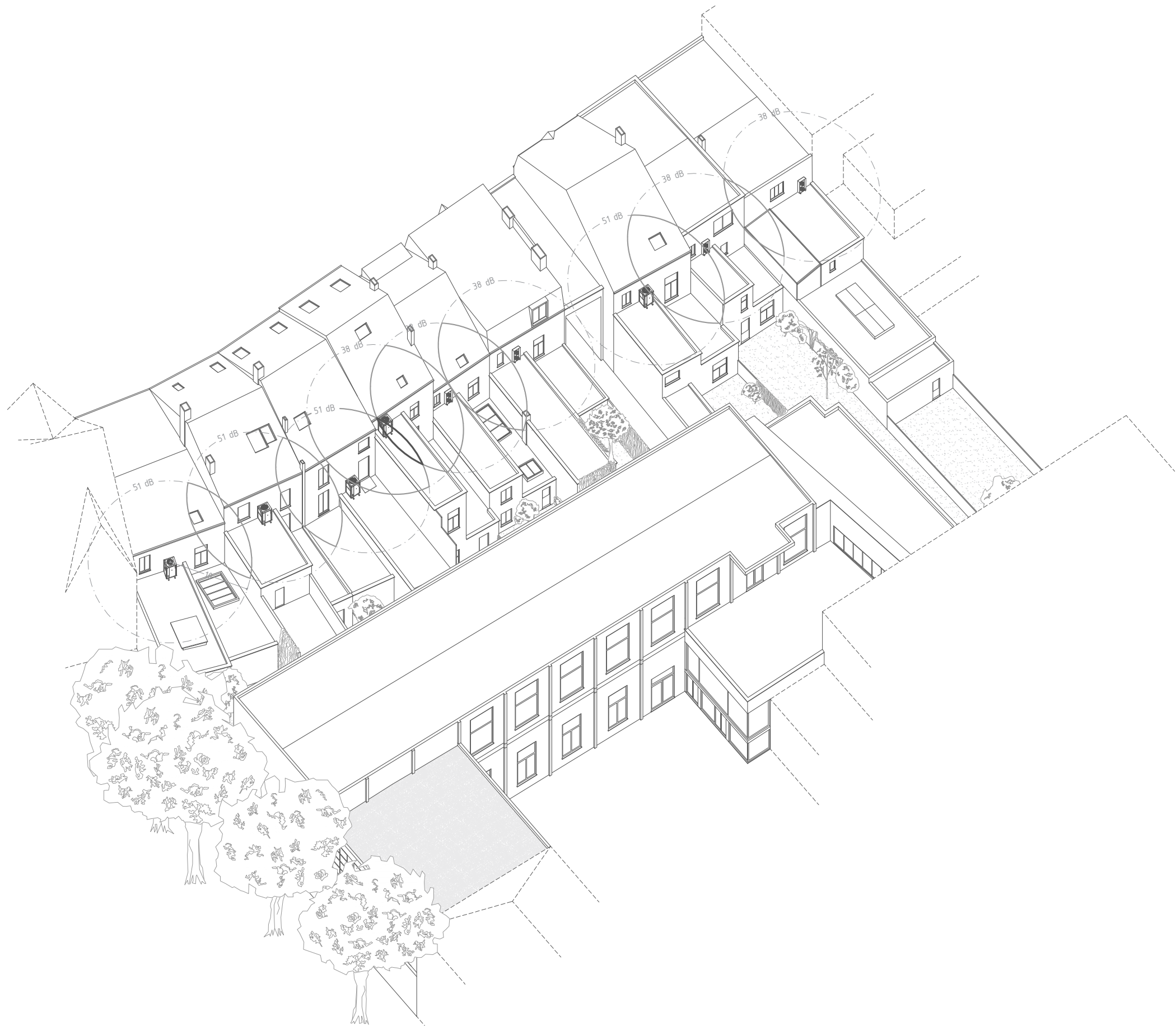
In Tekening 18 zijn er minder overlappende cirkels terug te vinden waardoor de warmtepompen minder met elkaar interfereren. Het vermogen en dus ook het geluidsdruk niveau van de warmtepompen is hier wel hoger omdat de woningen een historisch waardevolle gevel hebben. De rijhuizen met een oppervlakte van ongeveer 210 m^2 hebben type warmtepomp dat 38 dB uitzendt op een afstand van 10 m. Voor de woningen van ongeveer 320 m^2 is een groter vermogen nodig wat resulteert in een stijgende L_{pa} tot 51 dB. Voor beide types wordt de geluidsnorm overschreden, maar vooral voor de grote woningen is het problematisch.

De achterbouwen zijn wel voldoende diep waardoor de afstand tot de tuin regelmatig groter is dan 10 m. Indien de afstand toeneemt tot 12 m daalt L_{pa} tot 34,4 dB.

Ook in deze situatie kan het nachtelijk comfort in gedrang komen. De units worden geïnstalleerd dicht tegen de slaapkamerramen en het geluid dat de kamer binnenkomt is te vergelijken met een stem.



Tekening 17: geluidsdrumniveau van de buitenunits op 10 m van de lucht/water-warmtepompen (hoek Pothoekstraat en Lange van Bloerstraat)



Tekening 18: geluidsdrukniveau op 10 m van de buitenunits van de lucht/water-warmtepompen in de Pastorijsstraat

Dempers

Climeleon is een bedrijf dat op de markt is gekomen met een omkasting voor buitenunits van warmtepompen en airco's om het geluidsvermogeniveau te reduceren. Met enkele standaardmodellen beloven ze een reductie van 7 dB zonder dat de warmtepomp moet inboeten aan rendement. [96]

De kast rond de buitenunit bestaat uit zwarte kunststof schubben bestand tegen regen en wind. Het ontwerp is zodanig bepaald zodat de luchtstroming niet belemmerd wordt en de warmtepomp zijn rendement behoudt.

Climeleon heeft vier verschillende types op de markt gebracht:

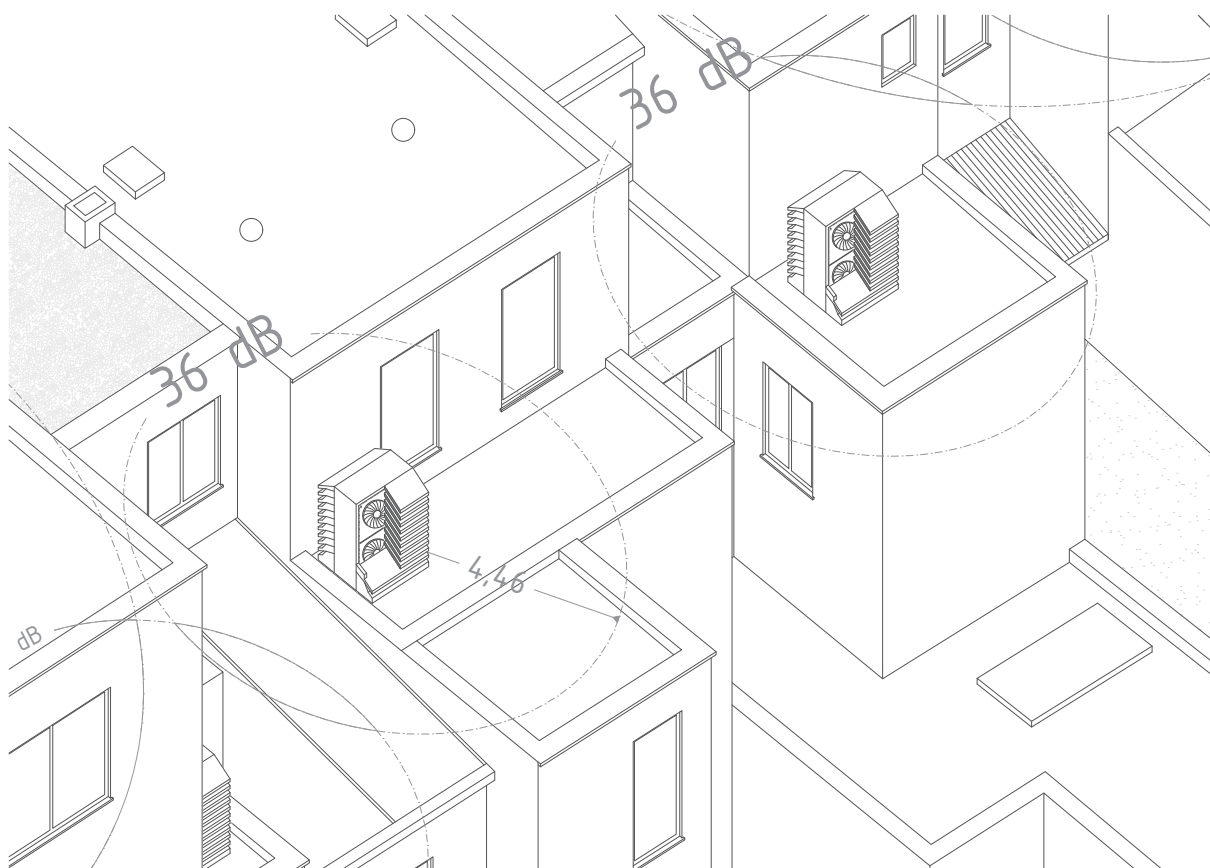
	Wave 5	Wave 7	Wave 11	Wave 13
Buitenafmetingen				
Breedte [mm]	1 165	1 165	1 165	1 165
Diepte [mm]	1 200	1 200	1 200	1 200
Hoogte [mm]	758	1 002	1 489	1 733
Binnenafmetingen				
Breedte [mm]	1 060	1 060	1 060	1 060
Diepte [mm]	490	490	490	490
Hoogte [mm]	665	900	1 390	1 650

Tabel 25: types akoestische dempers Climeleon

De lucht/water-warmtepompen van Daikin hebben alledrie dezelfde afmetingen. De binnenafmetingen van de Wave 11 volstaan om de buitenunit te voorzien van een akoestische demper. De toepassing van de dempers op warmtepompen is weergegeven in Tekening 19. De schubben laten een luchtstroom toe doorheen de omkasting zodat de warmtepomp het optimale vermogen blijft behalen.

De Wave 11, en de andere modellen, zijn niet voor alle toestellen inzetbaar. Bij de toestellen van Daikin zit de ventilator van de buitenunit aan de voorzijde en daar zijn ook de schubben geplaatst. Indien de ventilator aan de bovenzijde zit, kunnen de dempers van Climeleon niet ingezet worden omdat de luchtstromen te veel worden belemmerd. Hierdoor zijn de dempers niet van toepassing voor de Carrier toestellen. De binnenafmetingen, zoals vermeld in Tabel 25, zijn ook te klein.

Voor de Carrier warmtepompen bestaan er helaas geen standaard dempers. Er zou eventueel een demper op maat gemaakt kunnen worden, maar een reductie van 7 dB is niet voldoende om de norm te behalen.



Tekening 19: toepassing van de geluidsdempers

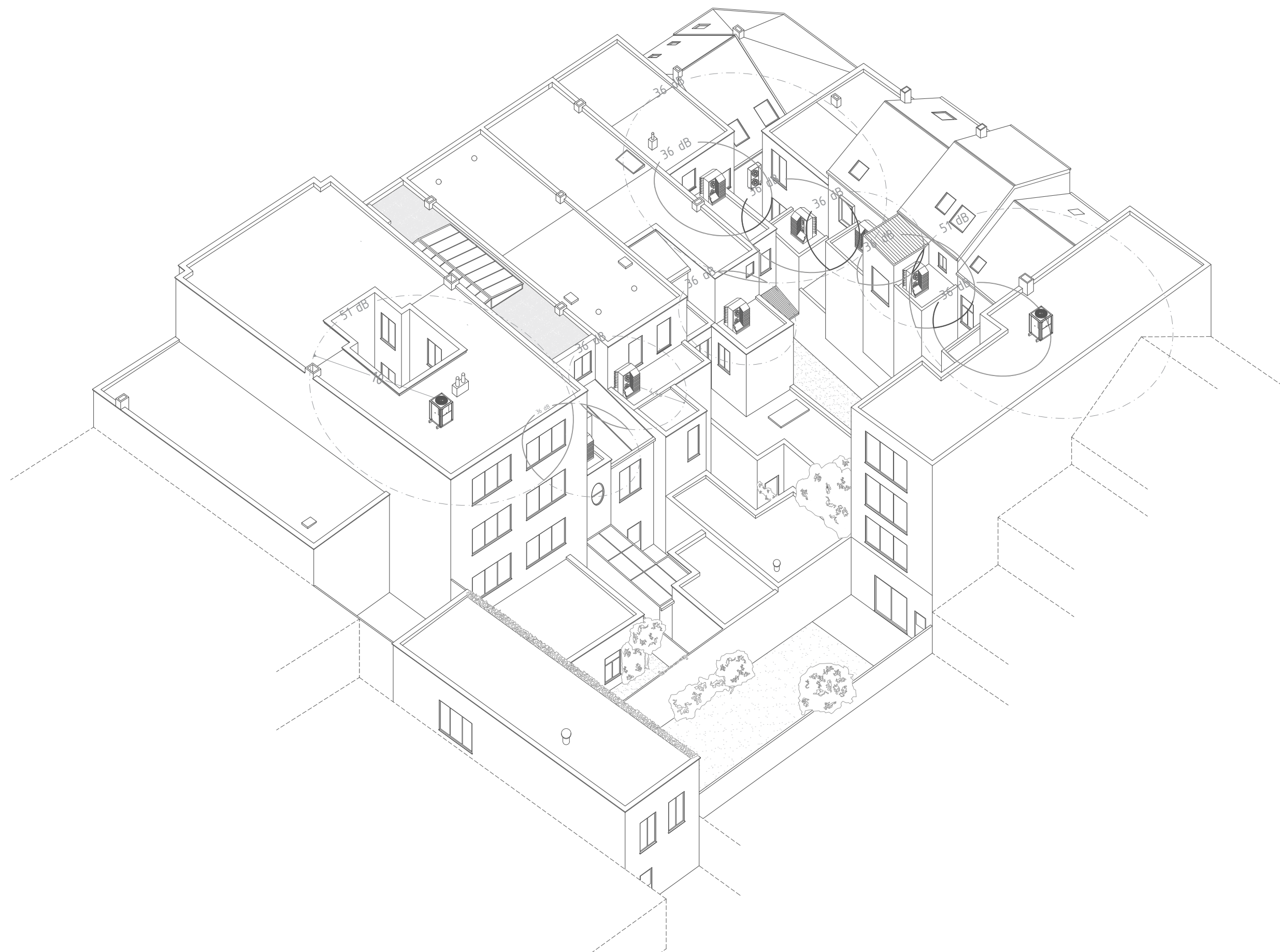
Door de omkasting daalt L_{pa} op een afstand van 10 m tot 29 dB en 31 dB voor de Daikintoestellen. De Vlaamse norm wordt hierdoor gehaald. Indien vier cirkels interfereren wordt volgende L_{pa} gehaald: $29 \text{ ' + ' } 29 \text{ ' + ' } 29 \text{ ' + ' } 29 = 32 \text{ ' + ' } 32 = 35 \text{ dB}$, een waarde die tegemoet komt aan de Vlaamse norm.

Om de vergelijking te duiden zijn op Tekening 20 en Tekening 21 opnieuw de invloedscirkels met een L_{pa} van respectievelijk 36 dB en 38 dB weergegeven. De dempers reduceren het geproduceerde geluid met 7 dB. Dat betekent dat het geluidsdrukniveau op een bepaalde afstand ook daalt. Via de verhouding tussen L_{wa} en L_{pa}^1 wordt de afstand vastgelegd waarbij een bepaald decibelniveau wordt gehaald. Hieruit blijkt dat op 4,46 m hetzelfde geluid waar te nemen is, een halvering in vergelijking met de warmtepompen zonder demper. De intersecties tussen de verschillende warmtepompen dalen bovendien waardoor er minder geluidsoverlast waar te nemen is in achtertuinen of ruimtes binnenshuis. Die daling is in hoofdzaak op te merken in de hoek waar er enkele toestellen kort op elkaar staan. [Tekening 20] In dezelfde tekening is de integratie van de dempers moeilijker wanneer de units niet op de grond of het dak staan. Het hoekhuis en zijn buur kunnen geen demper plaatsen waardoor hetzelfde geluidsdrukniveau wordt waargenomen.

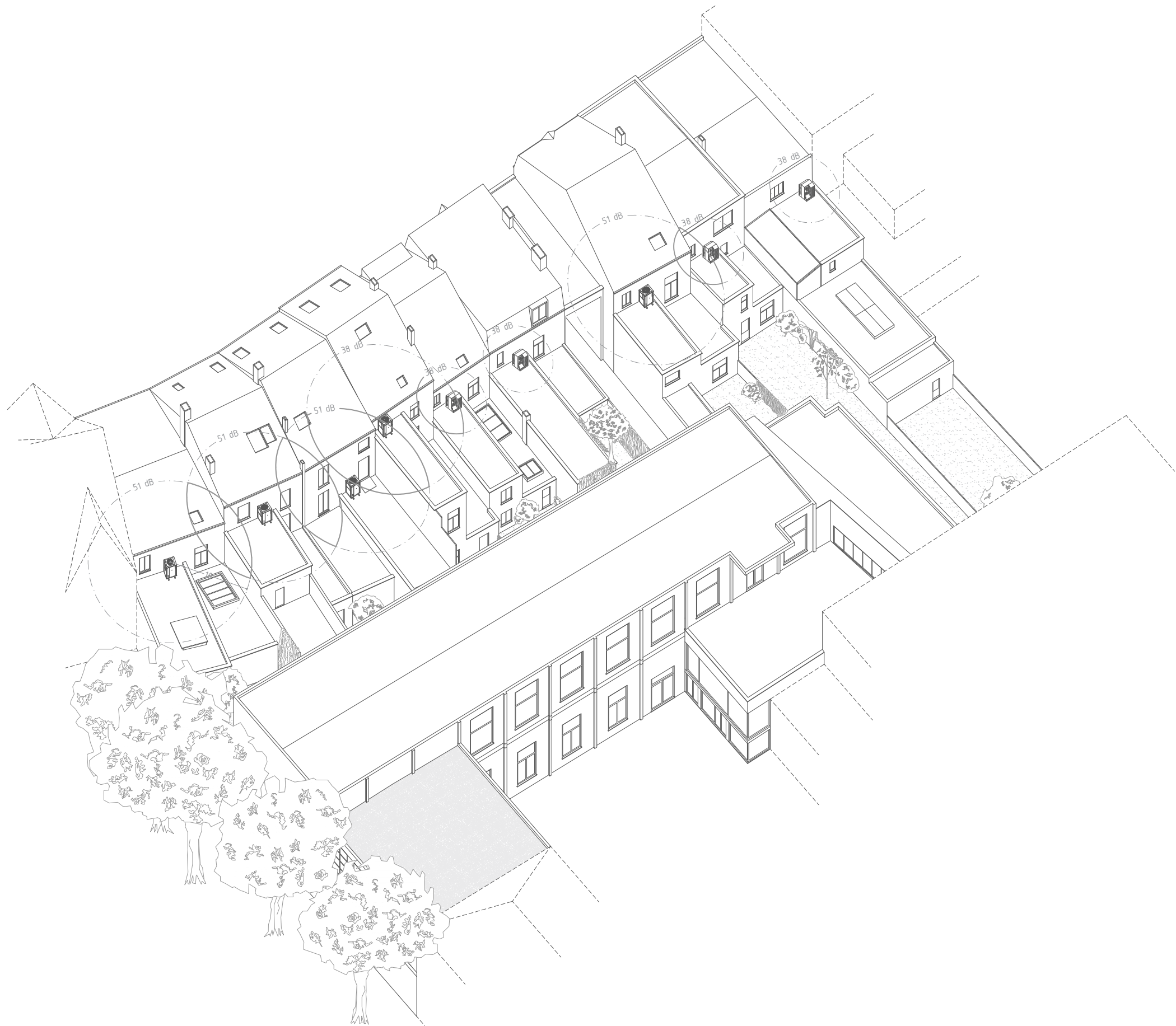
Het is belangrijk om voor elke woning te bekijken op welke plaats de warmtepomp kan geïntegreerd worden zodat de geluidsoverlast tot een minimum wordt beperkt. De aankoop van een demper is in deze situatie onvermijdelijk om het akoestisch comfort in de binnengebieden te behouden.

1

$L_{pa} = L_{wa} - 20\log(d) - 8$ waarin d de afstand is waarvan het geluidsdrukniveau wordt bepaald. [95]

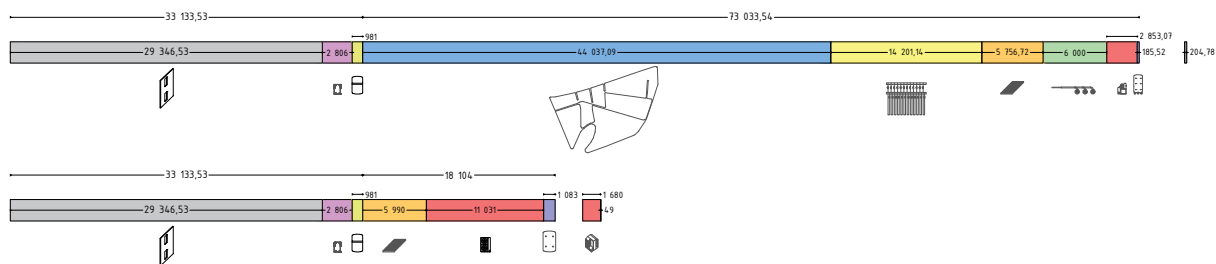


Tekening 20: geluidsdrukniveau van de buitenunits met toepassing van de geluidsdempers (hoek Pothoekstraat en Lange van Bloerstraat)



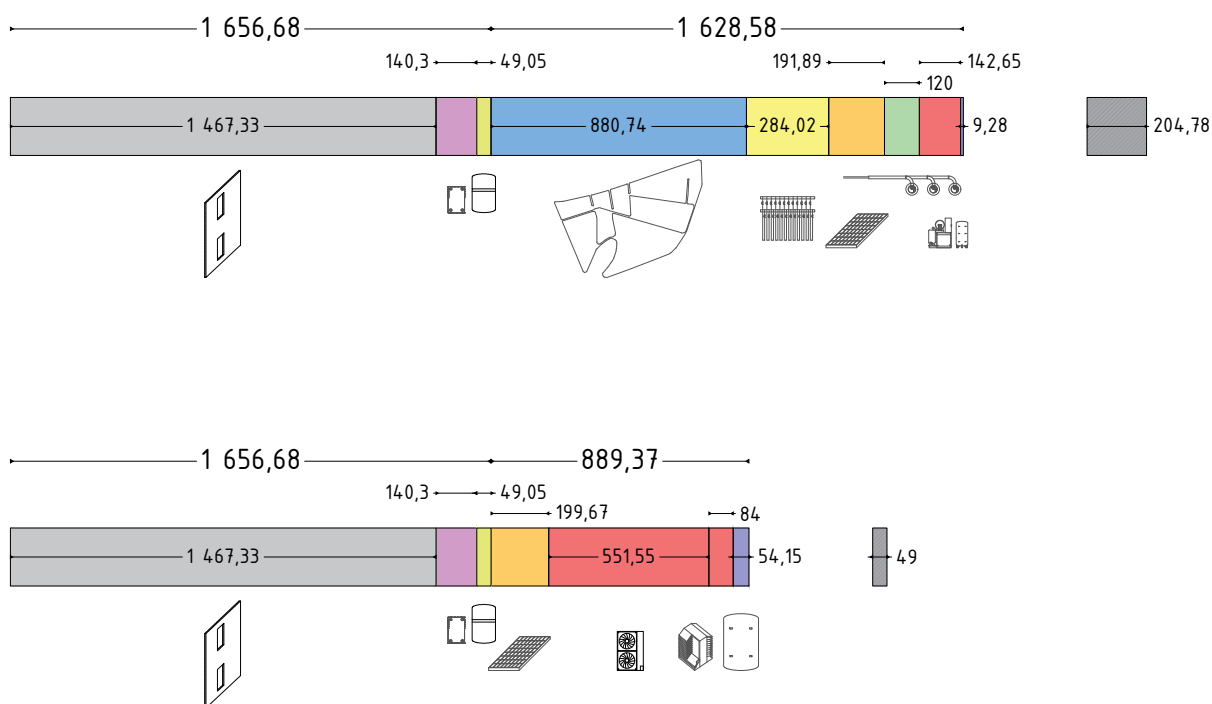
Tekening 21: geluidsdrukniveau van de buitenunits met toepassing van de geluidsdempers in de Pastorijstraat

De kost voor de individuele strategie loopt door de demper op. De aankoop van een demper (Wave 11) komt neer op € 1 680 [97] voor een rijwoning met een historische voorgevel van 211 m². Het grote verschil met het warmtenet blijft nog steeds bestaan.



Grafiek 21: bijkomende kost van een demper voor een woning met architecturale gevel van 211 m²

De kost op jaarbasis, aan de hand van de levensduur van alle technische installaties, wijzigt ook. De Wave 11 heeft ongeveer dezelfde levensduur als de warmtepomp. Het onderhoud van de demper is kostenloos. De financiële analyse van zowel de collectieve als de individuele strategie met onderhoud en demper inclusief ziet er als volgt uit:



Grafiek 22: jaarlijkse kost van een rijwoning (211 m²) met een historische gevel

De jaarlijkse investeringkost van de demper komt neer op € 84. [Grafiek 22] Het verschil met het warmtenet wordt net iets kleiner. De rode kleur in de onderste balk van Grafiek 22 valt nog meer op. De grootste investering in de individuele strategie blijft de warmtepomp.

Het rendement van de collectieve warmtepompen (bovenste rode balk, Grafiek 22) is daarentegen groter. De investeringskost voor de leidingen en de grondboringen is opvallend en kan, financieel gezien, niet concurreren tegen de individuele strategie.

Conclusie

Het onderzoek van deze masterproef focust op de integratie van een warmtenet in een 19de-eeuwse stadswijk in Antwerpen.

Een warmtenet wordt in België reeds gebruikt om stadsdelen te voorzien van verwarming en sww. Industriële plantages en bedrijven hebben vaak warmteoverschotten die via een warmtenet een tweede leven krijgen. De integratie van een thermische netwerk in de gekozen wijk bracht enkele complexe randvoorwaarden naar voren.

Eerst en vooral was er geen residuele warmte in de direct omgeving van de wijk te vinden. Een duurzame warmtebron werd elders gezocht. Daarenboven was de warmtevraag van de wijk hoog omdat het bestaande woningpatrimonium amper of niet geïsoleerd was. Om aan een behoefte van 350 kWh/m²/jaar per woning te voldoen, zou een immense opwekking gerealiseerd moeten worden. Via twee renovatiestrategieën werd dus onderzocht in hoeverre de warmtevraag reduceerde ten opzichte van de bestaande situatie.

Een integrale renovatiestrategie werd vooropgesteld zodat de thermische prestatie gegarandeerd werd met oog voor de historische 19de-eeuwse gevels. De architecturaal waardevolle voorgevels werden gevrijwaard van enige isolatie in de eerste strategie. Daartegenover stond de tweede strategie waarbij de voorgevel wel thermisch werd gerenoveerd.

De eerste strategie houdt het meest rekening met de architecturale kwaliteiten van de wijk en creëert voldoende thermische performante woningen zodat de warmtevraag van de volledige wijk uiteindelijk met 58% daalt.

Vervolgens werden het warmtenet en de technische installaties gedimensioneerd. Restwarmte was uitgesloten, want die ontbrak binnen een straal van vijf km. Via PVT-panelen en geothermie werd de warmtevraag volledig gedekt. 6 737 PVT-panelen en 905 grondboringen waren uiteindelijk nodig. Het aantal warmtepompen kwam terecht op 10 en het aantal buffervaten werd vastgelegd op 15. Samen staan ze in voor de productie van warmte om het thermisch net op 35°C te houden.

De integratie is enkel realistisch door het toepassen van de eerste renovatiestrategie. De warmtevraag van de bestaande wijk was veel te hoog om alle technische systemen te integreren. Bovendien speelt de onderlegger van de wijk ook een belangrijke rol. De grote complexen in de wijk hebben een voldoende groot dakoppervlak ter beschikking om bijna 6 800 panelen te installeren. De drie scholen hebben een grote speelplaats waardoor de grondboringen en de extra technische ruimte mogelijk worden. Daarnaast doken nog andere opportuniteiten op: AG Vespa is momenteel bezig met de heraanleg van een woningcomplex. Hierdoor kunnen extra boringen en een technische ruimte geïntegreerd worden. Ten slotte biedt het stedelijk plein voor de kerk voldoende extra ruimte voor de integratie van een BEO-veld.

Het leidingennetwerk vergt wel extra aandacht. De bestaande structuren creëren bijkomende randvoorwaarden die eerst in kaart gebracht werden. In een volledig nieuwe wijk verloopt de integratie vlotter omdat het warmtenet samen met de andere nutsvoorzieningen mee in het ontwerp worden opgenomen. Daarnaast worden de leidingen samen met de grondwerken geplaatst. In een bestaande context worden de straten opnieuw opgebroken en heraangelegd. Dit brengt een last meer voor zowel aannemers als buurtbewoners.

Uiteindelijk is de integratie haalbaar, maar er komen extra aandachtspunten bij kijken. De bestaande onderlegger legt strengere eisen op. Daarnaast laat de wijk het niet altijd toe om de grondboringen uit te voeren zonder dat er gebouwen gesloopt moeten worden. Hetzelfde geldt voor de technische ruimtes. Het aantal technische installaties kan enkel beperkt worden door de bestaande gebouwen thermisch te isoleren. Het is van belang om in te spelen op de opportuniteiten van de wijk en de beperkingen zoveel mogelijk in te calculeren. Alleen zo is een integratie mogelijk.

De financiële analyse bracht enkele opmerkelijke zaken naar voren. De absolute kost van het warmtenet liep hoog op door de aanleg van de leidingen. Dit is het gevolg van de bestaande straten die heraangelegd werden. Daarom wordt er een alternatieve strategie aangeboden door middel van een individuele lucht/water-warmtepomp. Hierbij is het opnieuw cruciaal om de bestaande woningen thermisch te isoleren om de warmtevraag te beperken en het vermogen van de warmtepompen te reduceren.

De kost van deze individuele strategie is opvallend lager dan het warmtenet. Dit is te wijten aan de verschillende componenten van het warmtenet: de leidingen, de grondboringen, PVT-panelen, warmtepompen en buffervaten. De investering voor de leidingen is het grootst, te wijten aan het openbreken van de bestaande wegen. Bovendien vergt de aansluiting van de woningen een extra investering.

Voor de individuele strategie is er enkel nood aan een lucht/water-warmtepomp, een buffervat en PVT-panelen. Die kost ligt opvallend lager. Het net kan simpelweg niet concurreren met de individuele strategie.

Toch is er een opmerkelijk verschil. Indien er enkel rekening gehouden wordt met de warmtepompen en de buffervaten is het collectieve systeem voordeliger. De overstap naar de wijk voor de opwekking van warmte is financieel gezien minstens twee keer interessanter dan de individuele strategie. Het kleinste verschil is waar te nemen bij het appartementencomplex.

Een energetische renovatie creëert bovendien een toekomstbeeld. De levensduur van de installaties is een belangrijk onderdeel. Het warmtenet, vooral de leidingen en de BEO-velden, heeft de langste levensduur. Het leidingennetwerk en de boringen gaan tot wel 50 jaar mee. De kans is groot dat er nog rek zit op die 50 jaar, maar dat is nog niet bewezen.

De jaarlijkse investering geeft het rendement van een bepaalde strategie weer. Het warmtenet wordt tijdens deze analyse voordeliger. Vooral de collectieve warmtepompen en buffervaten komen als beste uit de bus. De investering voor het net blijft redelijk groot, maar indien de levensduur toch langer is dan 50 jaar, stijgt het rendement. Het meest opmerkelijk doet zich voor op vlak van de technische installaties: het rendement van de warmtepomp voor de rijwoningen in de individuele strategie ligt minstens 3,8 keer lager.

Op vlak van levensduur is het interessanter om het warmtenet naar voren te schuiven. De technische installaties worden optimaal benut en het leidingennetwerk heeft zijn limieten nog niet bereikt. Bovendien is een uitbreiding altijd mogelijk.

Ten slotte spelen de akoestische randvoorwaarden nog een rol. Hoewel er geen eenduidige regelgeving bestaat, kan het geluid van een buitenunit van een lucht/waterwarmtepomp als storend ervaren worden. Afhankelijk van de precieze locatie in de wijk komen tot wel elf toestellen samen. Het geluidsniveau is niet alleen merkbaar in de tuinen, maar ook binnenshuis.

Een eventuele demper biedt mogelijkheden, maar geeft geen integrale oplossing voor alle toestellen.

Bij de collectieve strategie kan het geluidsniveau in de kiem gesmoord worden. De technische ruimtes worden geluidsdicht ontworpen waardoor het geluidsniveau daalt tot quasi nul.

Op vlak van akoestiek geniet het warmtenet de voorkeur. De overlast kan direct tot het minimum gereduceerd worden.

Gezien al voorgaande punten verdient het warmtenet de voorkeur. Energetische renovatie is gebaseerd op lange termijn en wil een oplossing bieden gericht op de toekomst. Het thermische netwerk ondersteunt in deze wijk een integrale aanpak waarbij architectuur, akoestiek en levensduur naar voren worden geschoven. Het vergt wel meer onderzoek en aandacht voor verschillende randvoorwaarden om het uiteindelijk doel te bereiken. Het sensibiliseren van de volledige wijk vormt hierbij een belangrijke pijler. Bovendien zijn de limieten van een warmtenet nog lang niet bereikt en kan het net steeds worden uitgebreid, hetgeen meer rekening houdt met de toekomst.

Bibliografie

Achtergrond

- [1] Energy performance certificate required for rental or sale of an habitation. (2019, 1 februari). Geraadpleegd op 8 juni 2020, van <https://www.vlaanderen.be/en/moving-and-housing/energy-performance-certificate-required-rental-or-sale-habitation>
- [2] NASA. (z.d.). *Carbon Dioxide Concentration* | *NASA Global Climate Change*. Geraadpleegd op 12 maart 2020, van <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>
- [3] Klimaatportaal Vlaanderen. (z.d.). *Het CO₂-gehalte in de atmosfeer stijgt aan de hoogste snelheid ooit geregistreerd*. Geraadpleegd op 12 maart 2020, van <https://klimaat.vmm.be/nl/-/het-co2-gehalte-in-de-atmosfeer-stijgt-aan-de-hoogste-snelheid-ooit-geregistreerd?inheritRedirect=true&redirect=%2Fweb%2Fguest%2F-%2Fhet-co2-gehalte-in-de-atmosfeer-stijgt-aan-de-hoogste-snelheid-ooit-geregistreerd%3FinheritRedirect%3Dtrue%26redirect%3D%252Fweb%252Fguest%252F-%252Fhet-klimaat-verandert-ook-in-belgie%253FinheritRedirect%253Dtrue%2526redirect%253D%25252Fweb%25252Fguest%25252Fartikels>
- [4] Knack. (2020, 24 januari). *In 2020 zal toename CO₂-concentratie record breken*. Geraadpleegd op 12 maart 2020, van https://www.knack.be/nieuws/wetenschap/in-2020-zal-toename-co2-concentratie-record-breken/article-news-1557333.html?cookie_check=1591343961
- [5] Van Den Bergh, K. (2019, 18 januari). *CO₂-uitstoot van je woning verminderen: wat kan jij doen?* Geraadpleegd op 12 maart 2020, van <https://bouw-energie.be/nl/blog/post/co2-uitstoot-van-je-woning-verminderen>
- [6] FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie. (2019). *Analyse van het energiegebruik van huishoudens in België*. Geraadpleegd van <https://economie.fgov.be/nl/publicaties/analyse-van-het>
- [7] Van Den Driessche, M., Nijs, L., Rédelé, S., Oelbrandt, B., & Van Steenkiste, J. (2017). *Verkennd onderzoek Klimaatwijken*. Brussel, België: Departement Omgeving.
- [8] Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2013). *Infoblad Trias Energetica en energieneutraal bouwen*. Geraadpleegd van <https://www.rvo.nl/sites/default/files/Infoblad%20Trias%20Energetica%20en%20energieneutraal%20bouwen-juni%202013.pdf>
- [9] Apostel, K., Myncke, R., & Van der Veken, K. (2012). *RUP 2060*. Geraadpleegd van <https://www.antwerpen.be/nl/info/52d5052339d8a6ec798b49c7/rup-2060-antwerpen>
- [10] WTCB. (2006). *Groendaken*. Geraadpleegd van <https://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?lang=nl&dtype=publ&doc=TVN%20229.pdf>
- [11] VITO, Lauwaet, D., Maiheu, B., Aertsens, J., & De Ridder, K. (2013). *Opmaak van een hittekaart en analyse van het stedelijk hitte-eiland effect voor Antwerpen*. Geraadpleegd van <https://www.antwerpenmorgen.be/projecten/stedelijke-hittekaart/media>

- [12] Posad, 3E, Universiteit Gent, Resourcedesign, LABO RUIMTE, Team Vlaams Bouwmeester, ... VEA. (2015). *Energielandschap Vlaanderen*. Geraadpleegd van <https://www.vlaamsbouwmeester.be/nl/nieuws/rapport-energielandschappen>
- [13] Verbeke, S. (2006). *Exergie als indicator voor de duurzaamheid van gebouwen*. Geraadpleegd van https://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/001/311/784/RUG01-001311784_2010_0001_AC.pdf
- [14] *IABR-2018-THE MISSING LINK*. (z.d.). Geraadpleegd op 27 maart 2020, van https://iabr.nl/nl/editie/iabr2018the-missing-link_part-one
- [15] *IABR-DOWN TO EARTH*. (z.d.). Geraadpleegd op 27 maart 2020, van https://iabr.nl/nl/editie/iabr_2020
- [16] Sustainable Development Goals (SDG's) van de VN. (z.d.). Geraadpleegd op 27 maart 2020, van <https://do.vlaanderen.be/SDGs>
- [17] Coopkracht. (2020, 10 juni). *Coöperaties als antwoord op de uitdagingen in hernieuwbare energie*. Geraadpleegd op 8 juni 2020, van <https://cooperatiefvlaanderen.be/cooperaties-als-antwoord-op-de-uitdagingen-hernieuwbare-energie>

Referentieprojecten

- [18] *Freiburg Im Breisgau, Germany*. (2019, 27 januari). Geraadpleegd op 22 maart 2020, van <https://www.100-percent.org/freiburg-im-breisgau-germany/>
- [19] Disch, R. (z.d.). *Photovoltaics ans (nearly) net zero energy buildings: architectural considerations* [Foto]. Geraadpleegd van https://www.researchgate.net/figure/Net-Zero-Energy-Buildings-Cluster-Plus-energy-settlement-in-Freiburg-DE-design-Rolf_fig2_271522787/actions#embed
- [20] *Paris Agreement*. (2019, 15 november). Geraadpleegd op 15 februari 2020, van https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en
- [21] *Green city: Europe's solar city, Freiburg*. (z.d.). Geraadpleegd op 3 mei 2020, van <https://www.greencitytimes.com/freiburg/>
- [22] Fastenrath, S., & Braun, B. (2018). Sustainability transition pathways in the building sector: Energy-efficient building in Freiburg (Germany). *Applied Geography*, 90, 339–349. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.09.004>
- [23] Stadt Freiburg. (z.d.). *Green City [Brochure]*. Geraadpleegd op 3 mei 2020, van <https://www.freiburg.de/pb/372840.html%20target=>
- [24] Steven Winter Associates, Inc. (2016, 8 februari). *Net Zero Energy Buildings | WBDG - Whole Building Design Guide*. Geraadpleegd op 3 mei 2020, van <https://www.wbdg.org/resources/net-zero-energy-buildings>

- [25] *How it works | Heating | Private | Wien Energie.* (z.d.). Geraadpleegd op 22 maart 2020, van <https://www.wienenergie.at/eportal3/ep/channelView.do/pageTypeld/67856/channelld/-58152>
- [26] *District Energy in Austria.* (2019, 28 november). Geraadpleegd op 22 maart 2020, van <https://www.euroheat.org/knowledge-hub/country-profiles/district-energy-austria/>
- [27] *Spittelau | waste-to-energy plants | Energy generation | Energy supply | About us | Wien Energie.* (z.d.). Geraadpleegd op 22 maart 2020, van <https://www.wienenergie.at/eportal3/ep/channelView.do/pageTypeld/67860/channelld/-51715>
- [28] *Citizen solar power plants | Energy generation | Energy supply | About us | Wien Energie.* (z.d.). Geraadpleegd op 22 maart 2020, van <https://www.wienenergie.at/eportal3/ep/channelView.do/pageTypeld/67860/channelld/-51749>
- [29] *The Spittelau incinerator.* (2019, 20 december). Geraadpleegd op 22 maart 2020, van <https://www.visitingvienna.com/footsteps/spittelau/>
- [30] *Spittelau Verbrandingsinstallatie.* (z.d.). [foto]. Geraadpleegd van <https://tix.nl/reisgidsen/wenen/8839/spittelau-verbrandingsinstallatie>
- [31] MIROM. (z.d.). *Wat is een warmtenet? | MIROM.* Geraadpleegd op 29 maart 2020, van <https://www.mirom.be/wat-is-een-warmtenet>
- [32] *Warmtenet Roeselare.* (2019, 14 maart). Geraadpleegd op 29 maart 2020, van <https://www.roeselare.be/wonen-en-leven/wonen-en-verbouwen/energie-voor-je-woning/warmtenet-roeselare>
- [33] *Verbrandingsinstallatie | MIROM.* (z.d.). Geraadpleegd op 29 maart 2020, van <https://www.mirom.be/verbrandingsinstallatie>
- [34] *Warmtenet Roeselare.* (z.d.). [Foto]. Geraadpleegd van <https://www.roeselare.be/wonen-en-leven/wonen-en-verbouwen/energie-voor-je-woning/warmtenet-roeselare>
- [35] *Doe mee: word cooperant.* (z.d.). Geraadpleegd op 22 maart 2020, van <https://www.zuidtrant.be/doe-mee-word-cooperant>
- [36] *Energiezuinig op school: jong geleerd is oud gedaan.* (z.d.). Geraadpleegd op 22 maart 2020, van <https://www.zuidtrant.be/energiezuinig-op-school>
- [37] *Klimatscholen 2050.* (z.d.). Geraadpleegd op 22 maart 2020, van <https://www.klimatscholen2050.be/>
- [38] *Zonnedaken.* (z.d.). Geraadpleegd op 22 maart 2020, van <https://www.zuidtrant.be/zonnedaken>
- [39] *Warmte@Zuid.* (2015). Geraadpleegd op 22 maart 2020, van <http://www.warmteatzuid.be/>

- [40] *Nieuw Zuid: Warmtenet*. (z.d.). Geraadpleegd op 22 maart 2020, van <https://www.antwerpenmorgen.be/projecten/nieuwzuid-warmtenet/over>
- [41] *Nieuw Zuid, wonen in een duurzame wijk aan de Schelde*. (z.d.). Geraadpleegd op 22 maart 2020, van <https://www.antwerpen.be/nl/info/537b1b32afa8a7ad4a8b4588/nieuw-zuid-wonen-in-een-duurzame-wijk-aan-de-schelde>
- [42] (2015). [Schema werking warmtenet]. Geraadpleegd van <http://www.warmteat Zuid.be/overwarmte/werking-warmtenet>
- [43] *Aanleg hoofdleiding*. (2015). [Foto]. Geraadpleegd van <http://www.warmteat Zuid.be/fotos/hoofdleiding-warmtenet-w-z>
- [44] Mouton. (z.d.). *Warmtecentrale, Antwerpen* [Foto]. Geraadpleegd van <https://mouton.eu/project/warmtecentrale/>
- [45] *De Nieuwe Dokken*. (2018, 6 augustus). Geraadpleegd op 29 maart 2020, van <https://sogent.be/projecten/de-nieuwe-dokken>
- [46] *DuCoop*. (z.d.). Geraadpleegd op 29 maart 2020, van <http://ducoop.be/>
- [47] Stad Gent. (2017, 5 april). *Energie uit afvalwater in nieuwe wijk aan Schipperskaai*. Geraadpleegd op 29 maart 2020, van <https://persruimte.stad.gent/147621-energie-uit-afvalwater-in-nieuwe-wijk-aan-schipperskaai>
- [48] Vandepopuliere, K. (2016 oktober). De Nieuwe Dokken: Vlaams duurzaamheidsbaken op komst. *Ecotips*, 5, 28–35.
- [49] *Wastewater reuse, energy recovery and nutrient recovery in a new city district*. (2018). Geraadpleegd op 27 maart 2020, van <https://www.nereus-project.eu/democases/democase-gent/>
- [50] *Buurzame Stroom: iedereen onder de zonnepanelen*. (z.d.). Geraadpleegd op 29 maart 2020, van <https://klimaat.stad.gent/nl/buurzame-stroom-iedereen-onder-de-zonnepanelen>
- [51] EnerGent, Samenlevingsopbouw, Stad Gent, Energiecentrale, UGent, Fluvius, ... EANDIS. (2020). *Buurzame stroom*. Geraadpleegd van <https://samenlevingsopbouwgent.be/wat-doen-we/projecten/buurzame-stroom/>
- [52] *Proeftuin 'De Schipjes': Samengaan van gebouww zorg en energieoptimalisatie in historische woonerven*. (2014, 14 augustus). Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://www.energyville.be/onderzoek/proeftuin-de-schipjes-samengaan-van-gebouww-zorg-en-energieoptimalisatie-historische>
- [53] *Godshuizen De Schipjes*. (z.d.). Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://inventaris.onroerenderfgoed.be/erfgoedobjecten/83167>

- [54] *Een energetisch concept op maat van Brugse godshuizen*. (2018, 13 september). Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://www.bouwkroniek.be/article/een-energetisch-concept-op-maat-van-brugse-godshuizen.640>
- [55] Vanderhispallie, E. (2009). *Brugge Peterseliestraat 136-158* [Foto]. Geraadpleegd van <https://inventaris.onroerenderfgoed.be/erfgoedobjecten/83167>

Ontwerpende onderzoek

- [56] Troubleyn/Jan Fabre. (z.d.). *Laboratorium*. Geraadpleegd op 22 oktober 2019, van <https://www.troubleyn.be/nl/laboratorium>
- [57] Geopunt Vlaanderen. (z.d.). *Geopunt Vlaanderen*. Geraadpleegd op 22 oktober 2019, van <https://www.geopunt.be/>
- [58] Erfgoed Vlaanderen. (2019). *Parochiekerk Sint-Willibrordus*. Geraadpleegd op 22 oktober 2019, van <https://inventaris.onroerenderfgoed.be/erfgoedobjecten/6993>
- [59] Dillen, M. (2014). *E60-woning verbruikt een derde minder energie dan E100-woning*. Geraadpleegd van <https://static.tijd.be/upload/energieverbruik-230401.pdf>
- [60] Leemilieu Brussel, ABEA, & Federale Overheidsdienst Financiën. (2008). *De productie van sanitair warm water (WW01)*. Geraadpleegd van http://bibvir.ibgebim.be/opac_css/electfile/IF%20Energie%20ECS01%20part%20NL
- [61] Gennez, C., & Meuleman, E. (2017). *Voorstel van resolutie betreffende de bevordering van klimaatvriendelijke scholen in Vlaanderen*. Geraadpleegd van <https://www.vlaamsparlement.be/parlementaire-documenten/parlementaire-initiatieven/1136244>
- [62] Maes, D., Liekens, J., Robeyn, N., & Jannis, P. (2005). *ANRE-Demonstratieproject: Eco-Bedrijfsgebouw met doorgedreven energiezuinige bouwtechnieken en installaties en een windturbine voor de elektriciteitsproductie bij Oxfam Wereldwinkels, Gent*. Geraadpleegd van <https://docplayer.nl/5293721-Eindrapport-d-maes-j-liekens-n-robeyn-p-jannis-studie-uitgevoerd-in-opdracht-van-anre.html>
- [63] Remeha. (2017). *Zonnegids: 2017-2018/België*. Geraadpleegd van https://remeha.be/wp-content/uploads/documents/brochures/zonnegids/zonnegids_nl_2017.pdf
- [64] VROM. (2007). *Kompas, energiebewust wonen en werken*. Geraadpleegd van <http://www.freitas.nl/Downloads/Cijfers%20en%20tabellen%202007.pdf>
- [65] WTCB. (2016). *Bepresteringen op buitenisolatie*. Geraadpleegd van <https://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=REF00008530>
- [66] U- en R-waarde. (z.d.). Geraadpleegd op 9 juni 2020, van <https://www.energiesparen.be/EPB-pedia/indicatoren/U-en-R-waarde>

- [67] Zorg en Gezondheid Vlaanderen. (z.d.). *Legionella*. Geraadpleegd op 30 mei 2020, van <https://www.zorg-en-gezondheid.be/legionella>
- [68] *Zonnepanelen en vermogen op hete zomerdag. Waarom minder?* (2018, 27 februari). Geraadpleegd op 5 mei 2020, van <https://www.zonnepanelen.net/zonnepanelen-vermogen/>
- [69] TerraEnergy. (z.d.). *Hernieuwbare thermische energiesystemen: gesloten (BEO) of open bron (KWO)*. Geraadpleegd op 5 mei 2020, van <https://terra-energy.be/nl/beo-kwo/winter/>
- [70] *Wat zijn Phase Change Materials?* (z.d.). Geraadpleegd op 31 mei 2020, van <https://www.global-e-systems.com/nl/phase-change-materials/wat-zijn-phase-change-materials/>
- [71] *Frank Deboosere – Wat is de gemiddelde dagelijkse zonneschijnduur?* (z.d.). Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://www.frankdeboosere.be/vragen/vraag131.php>
- [72] InterClima. (z.d.). *Buffervaten*. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://www.interclima.nl/buffervat/buffervaten/>
- [73] Department of Energy Technology. (2018). *Spatial Data Assisted Ground Source Heat Pump Potential Analysis in China, a Case of Qingdao City*. Geraadpleegd van https://www.researchgate.net/figure/Specific-heat-extraction-SHE-values-suggested-by-VDI_tbl1_331804436
- [74] *DWA of Droogweerafvoer | Aquafin*. (z.d.). Geraadpleegd op 30 mei 2020, van <https://www.aquafin.be/nl-be/wat-doen-we/dwa-droogweerafvoer>
- [75] *Lange Van Bloerstraat 136-142 & Kerkstraat 163 en 187*. (z.d.). Geraadpleegd op 22 maart 2020, van <https://www.agvespa.be/projecten/lange-van-bloerstraat-136-142-kerkstraat-163-en-187>
- [76] Demolder, L. (2020, 12 mei). *Smart multi-energydistrict @DE NIEUWE DOKKEN* [Presentatieslides]. Geraadpleegd van <https://ufora.ugent.be/d2l/le/content/63525/viewContent/379811/View>
- [77] Blasco, M. (2019). *Introduction to Building Acoustics for Architects and Engineers* [Presentatieslides]. Geraadpleegd van https://minerva.ugent.be/courses2018/E05118002018/document/cursus_UGENT_acoustics_BLASCO_Eng_20181004.pdf?cidReq=E05118002018
- [78] MIROM. (2015). *Warmtenet Roeselare*. Geraadpleegd van <https://www.pomov.be/wp-content/uploads/2015/08/MIROM.pdf>
- [79] POM West-Vlaanderen. (2013). *Deel 2 Voorontwerp & Disseminatie: fase II haalbaarheidsstudie warmtenet Brugge*. Geraadpleegd van http://pomwvl.be/sites/default/files/uploads/duurzaam_ondernemen/doc/Fase2_Deel2_VoorontwerpBrugge_201306709.pdf
- [80] *Flamco FlexTherm ECO 9E thermisch laadstation 10,5kW – Wasco*. (z.d.). Geraadpleegd op 27 maart 2020, van <https://www.wasco.nl/artikel/flamco-flextherm-eco-e9-thermisch-laadstation-10-5kw-18202/1380006>

- [81] Vaillant. (z.d.). *Buffervat allSTOR plus – Vaillant*. Geraadpleegd op 27 maart 2020, van <https://www.vaillant.be/consumenten/producten/allstor-plus-834.html>
- [82] *Booster Warmtepomp*. (z.d.). Geraadpleegd op 30 mei 2020, van <https://www.ithodaalderop.be/catalogus/booster-warmtepomp>
- [83] Daikin. (z.d.). *De werking van een lucht/water-warmtepomp uitgelegd*. Geraadpleegd op 5 mei 2020, van https://www.daikin.be/nl_be/warmtepompen/producten/werking-warmtepomp.html
- [84] *Kadaster*. (z.d.). Geraadpleegd op 4 juni 2020, van <https://www.kadaster.be/Default.aspx?commune589=Antwerpen&commune589=Antwerpen&commune589=Antwerpen>
- [85] Van Volcem, M. (2016, 13 juni). *Woningprijzen in de centrumsteden*. Geraadpleegd op 5 juni 2020, van <http://www.blogmercedesvanvolcem.be/vlaams-parlement/parlementair-werk-vlaams-parlement/steden/woningprijzen-in-de-centrumsteden/>
- [86] Daikin. (z.d.-b). *Onderhoudsvoorschriften warmtepompen*. Geraadpleegd op 30 mei 2020, van https://www.daikin.be/nl_be/nuttige-weetjes/onderhoudsvoorschriften.html
- [87] Brand, S., & Viking Press. (1994). *How Buildings Learn*. Amerika, NY: Viking Press.
- [88] Brand, S. (1994). *Shearing layers of change [Illustratie]*. Geraadpleegd van https://www.researchgate.net/figure/Shearing-layers-of-change-Brand-1994_fig1_282479535
- [89] POM West-Vlaanderen. (2012). *Haalbaarheidsstudie warmtenet Brugge*. Geraadpleegd van http://pomwvl.be/sites/default/files/uploads/duurzaam_ondernemen/doc/energie/Fase%201%20Deel%201%20Inventarisatie%20Brugge.pdf
- [90] 3E NV. (2019). *PIO Energietransitie Zilvermeer*. Geraadpleegd van https://www.innovatieveoverheidsopdrachten.be/sites/default/files/energietransitiesilvermeer_eindverslag.pdf.pdf
- [91] Totem. (z.d.). Geraadpleegd op 25 mei 2020, van <https://www.totem-building.be/pages/welcome.xhtml>
- [92] Schoonenberg. (z.d.). *Geluid en decibellen dB(A) | Schoonenberg*. Geraadpleegd op 31 mei 2020, van <https://www.schoonenberg.nl/gehoor/informatie-over-geluid/>
- [93] WTCB. (2018). *Welke geluidslimieten gelden er voor warmtepompen?* Geraadpleegd van <https://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=REF00010926>
- [94] WTCB. (2018). *Overzicht van de regelgeving rond omgevingsakoestiek in België*. Geraadpleegd van https://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=services&sub=standards_regulations&pag=norm_acoustics&art=environment_acoustics
- [95] *Geluidsniveau, geluidsvermogen, geluidvermogen, geluidsvermogenniveau, geluidvermogenniveau*. (z.d.). Geraadpleegd op 25 mei 2020, van <https://www.tbve.nl/geluidsniveau-geluidsvermogen.htm>

- [96] Climeleon. (z.d.). *Outdoor unit encasing*. Geraadpleegd op 15 mei 2020, van <https://www.climeleon.com/lang/benl/producten.html>
- [97] De Groene Hoed. (z.d.). *Climeleon warmtepomp / airco omkasting*. Geraadpleegd op 25 mei 2020, van <https://www.groenehoedduurzaam.nl/warmtepomp-airco-omkasting.html?id=122652971>

Bijlagen

- [98] Vlaams Parlement. (2017). *Bijlage 1: Leerlingenaantallen voor het basis- en het secundair onderwijs per vestigingsplaats voor gewoon en buitengewoon onderwijs voor de schooljaren 2009-2010 tot en met 2016-2017*. Geraadpleegd van <http://docs.vlaamsparlement.be/pfile?id=1342926>
- [99] *Warmtecapaciteit, soortelijke warmte, soortelijke warmtecapaciteit, massawarmte*. (z.d.). Geraadpleegd op 31 mei 2020, van <https://www.joostdevree.nl/shtmls/warmtecapaciteit.shtml>
- [100] *Geothermische Screeningstool*. (z.d.). Geraadpleegd op 17 maart 2020, van <https://tool.smartgeotherm.be/geo/alg>
- [101] Formatie van Berchem. (z.d.). In *Wikipedia*. Geraadpleegd op 17 maart 2020, van https://nl.wikipedia.org/wiki/Formatie_van_Berchem
- [102] Boomse Klei. (z.d.). In *Wikipedia*. Geraadpleegd op 17 maart 2020, van https://nl.wikipedia.org/wiki/Boomse_Klei
- [103] Zand van Zelzate. (z.d.). In *Wikipedia*. Geraadpleegd op 17 maart 2020, van https://nl.wikipedia.org/wiki/Zand_van_Zelzate
- [104] Formatie van Maldegem. (z.d.). In *Wikipedia*. Geraadpleegd op 17 maart 2020, van https://nl.wikipedia.org/wiki/Formatie_van_Maldegem
- [105] Formatie van Lede. (z.d.). In *Wikipedia*. Geraadpleegd op 17 maart 2020, van https://nl.wikipedia.org/wiki/Formatie_van_Lede
- [106] Formatie van Gentbrugge. (z.d.). In *Wikipedia*. Geraadpleegd op 17 maart 2020, van https://nl.wikipedia.org/wiki/Formatie_van_Gentbrugge
- [107] Formatie van Tielt. (z.d.). In *Wikipedia*. Geraadpleegd op 17 maart 2020, van https://nl.wikipedia.org/wiki/Formatie_van_Tielt
- [108] Formatie van Kortrijk. (z.d.). In *Wikipedia*. Geraadpleegd op 6 juni 2020, van https://nl.wikipedia.org/wiki/Formatie_van_Kortrijk
- [109] Formatie van Tienen. (z.d.). In *Wikipedia*. Geraadpleegd op 17 maart 2020, van https://nl.wikipedia.org/wiki/Formatie_van_Tienen

- [110] Formatie van Hannut. (z.d.). In *Wikipedia*. Geraadpleegd op 17 maart 2020, van https://nl.wikipedia.org/wiki/Formatie_van_Hannut
- [111] Formatie van Maastricht. (z.d.). In *Wikipedia*. Geraadpleegd op 17 maart 2020, van https://nl.wikipedia.org/wiki/Formatie_van_Maastricht
- [112] Stauffer, F., Bayer, P., Blum, P., Giraldo, N. M., & Kinzelbach, W. (2013). *Thermal Use of Shallow Groundwater*. Abingdon, Verenigd Koninkrijk: Taylor & Francis.
- [113] Verheyden bvba. (2016). *Grondboringen*. Geraadpleegd van https://www.stiebel-eltron.be/content/dam/ste/be/nl/service/Opleiding/Juni/Bodemwater/Voorbeeld_offerte_sondeboringen.pdf
- [114] Carrier. (2016). *CARRIER LUFT/WASSERWÄRMEPUMPE 61AF (R407C) PREISLISTE 2016*. Geraadpleegd van https://referenzen.meiertobler.ch/app/uploads/2017/10/WM_Carrier_PL_61AF_de_April16_final.pdf
- [115] Van Goethem, K., & Kerckhof, J. (2012). *Energetische optimalisatie van een 19e-eeuwse rijwoning* (masterproef). Geraadpleegd van https://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/007/073/RUG01-002007073_2013_0001_AC.pdf
- [116] *Flamco FlexTherm ECO 6E thermisch laadstation 7kW - Wasco*. (z.d.). Geraadpleegd op 27 maart 2020, van <https://www.wasco.nl/artikel/flamco-flextherm-eco-e6-thermisch-laadstation-7-0kw-18201/1380004>

Technische fiches

- [117] *Universeel PVT-paneel 300Wp 1650 x 992 x 40 mm SolarEdge OPJ300-LV power optimizer embedded - Wasco*. (z.d.). Geraadpleegd op 12 februari 2020, van <https://www.wasco.nl/artikel/powerprofit-pvt-paneel-300wp-1650x992x40-solaredge-embedd/7701000>
- [118] Flamco. (2019). *FlexTherm Eco*. Geraadpleegd van https://flamcogroup.com/media/files/documentation/leaflet_flextherm_eco_nld.pdf
- [119] Vitocal. (2014). *Ontwerphandleiding: VITOCAL 350-G PRO*. Geraadpleegd van <https://www.manualslib.de/manual/451062/Viessmann-Vitocal-350-G-Pro.html>
- [120] InterClima. (2017). *Prijslijst buffervaten 2017/2018*. Geraadpleegd van <https://docplayer.nl/68594111-Prijslijst-buffervaten-2017-2018.html>
- [121] Carrier. (2015). *Compacte hoge temperatuur lucht-water warmtepompen met geïntegreerde hydromodule*. Geraadpleegd van https://www.carrier.nl/~media/Product_pdfs/61-serie/61AF/02-Selectie-PSD/61AF_022-105_PSD_10-2015_NL.ashx
- [122] Daikin. (2019). *Residentiële catalogus lucht/water warmtepompen*. Geraadpleegd van <https://www.daikin.be/content/dam/DAB/document-library/catalogues/Residentiele%20catalogus%20lucht-water%20warmtepompen%202019.pdf>

Bijlagen

Studenten

School	Aantal leerlingen (2016-2017) ¹
Sint-Maria	301
Stedelijk Lyceum	372
Sint-Jozef	5

Tabel 1: aantal studenten per school (2016-2017) [98]

Aantal units

Type	Aantal
Rijhuizen	496
Appartementencomplexen	40
Appartementen	198
Commercieel	37
Kantoren	1
Scholen	3
Andere	3

Tabel 2: aantal gebouwen opgedeeld in verschillende types

Behoeftesw

Type	Dagelijkse behoefte sww per persoon [L of kg] [63]	ΔT [K]	Soortelijke warmtecapaciteit water [J/kg.K] [99]	Energie q per dag per persoon [kJ]	Dagelijkse behoefte [kWh]
Residentieel	60	35	4 187	8 792,7	2,44
Commercieel	5	35	4 187	732,73	0,20
Kantoor	5	35	4 187	732,73	0,20
School	5	35	4 187	732,73	0,20
Andere	60	35	4 187	8 792,7	2,44

Tabel 3: dagelijkse behoefte sww per bouwtype

¹ Nodig om het verbruik van sww in te schatten

Energieverbruik bestaande situatie

BLOK 1	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	110	220	348	76 560	9,77	3 565,93	8 421 600	392 252,12
Appartement	47	100	348	34 800	4,88	1 782,96	1 635 600	83 799,32
Commercieel	5	60	128	7 680	0,61	22,87	38 400	1 114,35
Kantoor	1	200	128	25 600	0,61	222,87	25 600	222,87
School	1	5 756	183	1 053 348	43,15	15 749,52	1 053 348	15 749,52
Andere	2	200	128	25 600	24,42	8 914,82	51 200	17 829,81
<i>Totaal</i>	<i>166</i>						<i>11 225 748</i>	<i>510 967,81</i>

Tabel 4: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 1

BLOK 2	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	80	220	348	76 560	9,77	3 565,93	6 124 800	285 274,27
Appartement	78	100	348	34 800	4,88	1 782,96	2 714 400	139 071,21
Commercieel	3	60	128	7 680	0,61	22,87	23 040	668,61
Kantoor	–	–	–	–	–	–	–	–
School	–	–	–	–	–	–	–	–
Andere	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Totaal</i>	<i>161</i>						<i>8 862 240</i>	<i>425 014,08</i>

Tabel 5: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 2

BLOK 3	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	100	220	348	76 560	9,77	3 565,93	7 656 000	356 592,83
Appartement	29	100	348	34 800	4,88	1 782,96	1 009 200	51 705,96
Commercieel	21	60	128	7 680	0,61	22,87	161 280	4 680,28
Kantoor	-	-	-	-	-	-	-	-
School	1	11 820	183	1 053 348	75,71	27 635,94	2 163 060	27 635,94
Andere	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Totaal</i>	<i>151</i>						<i>10 989 540</i>	<i>440 615,02</i>

Tabel 6: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 3

BLOK 4	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	44	220	348	76 560	9,77	3 565,93	3 368 640	156 900,85
Appartement	-	-	-	-	-	-	-	-
Commercieel	-	-	-	-	-	-	-	-
Kantoor	-	-	-	-	-	-	-	-
School	-	-	-	-	-	-	-	-
Andere	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Totaal</i>	<i>44</i>						<i>3 368 640</i>	<i>156 900,85</i>

Tabel 7: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 4

BLOK 5	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	32	220	348	76 560	9,77	3 565,93	2 449 920	114 109,71
Appartement	-	-	-	-	-	-	-	-
Commercieel	1	60	128	7 680	0,61	22,87	7 680	222,87
Kantoor	-	-	-	-	-	-	-	-
School	-	-	-	-	-	-	-	-
Andere	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Totaal</i>	<i>33</i>						<i>2 457 600</i>	<i>114 332,58</i>

Tabel 8: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 5

BLOK 6	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	42	220	348	76 560	9,77	3 565,93	3 215 520	149 768,99
Appartement	6	100	348	34 800	4,88	1 782,96	208 800	10 697,79
Commercieel	-	-	-	-	-	-	-	-
Kantoor	-	-	-	-	-	-	-	-
School	-	-	-	-	-	-	-	-
Andere	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Totaal</i>	<i>48</i>						<i>3 424 320</i>	<i>160 466,78</i>

Tabel 9: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 6

BLOK 7	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	42	220	348	76 560	9,77	3 565,93	3 125 520	149 768,99
Appartement	6	100	348	34 800	4,88	1 782,96	208 800	10 697,79
Commercieel	7	60	128	7 680	0,61	22,87	53 760	1 040,06
Kantoor	-	-	-	-	-	-	-	-
School	-	-	-	-	-	-	-	-
Andere	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Totaal</i>	<i>55</i>						<i>3 478 080</i>	<i>161 506,84</i>

Tabel 10: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 7

BLOK 8	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	46	220	348	76 560	9,77	3 565,93	3 521 760	164 032,70
Appartement	32	100	348	34 800	4,88	1 782,96	1 113 600	57 054,85
Commercieel	-	-	-	-	-	-	-	-
Kantoor	-	-	-	-	-	-	-	-
School	1	10 665	183	1 053 348	61,26	22 361,34	1 951 695	22 361,34
Andere	1	200	128	25 600	24,42	8 914,82	25 600	8 914,82
<i>Totaal</i>	<i>80</i>						<i>6 612 655</i>	<i>252 363,72</i>

Tabel 11: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 8

Type	Totale behoefte verwarming [kWh/jaar]	Vollasturen [h] [64]	Energieverbruik [kW]
Residentieel	44 864 160	1 600	28 040,10
Commercieel	284 160	1 300	218,58
Kantoor	25 600	1 300	19,69
School	5 168 103	1 200	4 306,75
Andere	76 800	1 000	76,80
<i>Totaal</i>	<i>50 418 823</i>		<i>32 661,93</i>

Tabel 12: samenvattende tabel van de verwarmingsbehoefte van de wijk

Type	Dagelijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Residentieel	5 812,95	2 121 727,36
Commercieel	55,59	7 726,18
Kantoor	0,61	222,87
School	180,13	65 746,80
Andere	73,27	26 744,46
<i>Totaal</i>	<i>6 089,56</i>	<i>2 222 167,67</i>

Tabel 13: samenvattende tabel van de behoefte van sww van de wijk

Type	Dagelijkse behoefte voor sww per unit [kWh]	Opwekking door FlexTherm [kWh]	Opwekking door het net [kW]	Behoefte voor sww [kWh/jaar]
Rijhuis	9,77	9,77	201,91	445 809,43
Appartement	4,88	4,88	40,30	88 982,12
Commercieel	0,61	0,61	0,94	2 078,50
Kantoor	0,61	0,61	0,03	56,18
Sint-Jozef	43,15	43,15	1,80	3 969,74
Stedelijk Lyceum	75,71	75,71	3,15	6 965,77
Sint-Maria	61,26	61,26	2,55	5 636,28
Andere	24,42	24,42	3,05	6 741,07
<i>Totaal</i>	<i>220,43</i>		<i>253,73</i>	<i>560 239,09</i>

Tabel 14: opwekking sww door FlexTherm en het net indien de zon geen 2,5h per dag schijnt

Warmtenet	Totale energiebehoefte [kWh/jaar]	Totale energieverbruik [kW]
Verwarming + sww	50 979 062,09	32 915,66

Tabel 15: totale verbruik dat het warmtenet moet leveren indien de wijk niet wordt gerenoveerd

Energieopwekking bestaande situatie

Totale energieverbruik [kW]	32 195,66	Aantal [-]
Vermogen warmtepomp [kW]	1 489	22,11
Inhoud buffervat [L]	10 000	32,92

Tabel 16: aantal warmtepompen en buffervaten

PVT-panelen	Aantal
Residentieel	5 420
Sint-Jozef	301
Jan Fabre/Troubleyn	146
Sint-Maria	345
Stedelijk Lyceum	125
Sint-Willibrordus	400
<i>Totaal</i>	<i>6 737</i>

Tabel 17: aantal PVT-panelen over de volledige wijk

Type [117]	Vermogen [kWh/jaar]	Totaal vermogen [kWh/jaar]
DM300-M156-60BKS	1 028	6 925 636

Tabel 18: totale opgewekte vermogen van het aantal PVT-panelen

Type laag [100]	Samenstelling	Diepte [m]	Dikte [m]	Warmte-extractie [W/m] [112]	Warmte-extractie [W]	Vollasturen [h]	Warmte-extractie [kWh/jaar]
F. Berchem [101]	marien zand	25	15	65	325	1 500	488
Boomse Klei [102]	klei	88	63	40	2 520	1 500	3 780
F. Zelzate [103]	zand en klei	120	32	40	1 280	1 500	1 920
F. Maldegem [104]	marien zand en klei	165	45	65	2 925	1 500	4 388
F. Lede [105]	kalk en zand	185	20	40	800	1 500	1 200
F. Gentbrugge [106]	klei en zand	215	30	40	1 200	1 500	1 800
F. Tielt [107]	marien zand	240	25	65	1 625	1 500	2 438
F. Kortrijk [108]	marien klei	350	110	65	7 150	1 500	10 725
F. Tienen [109]	klein en zand	365	15	40	600	1 500	900
F. Hannut [110]	marien klei	420	55	65	3 575	1 500	5 363
F. Maastricht [111]	kalksteen	500	80	65	5 200	1 500	7 800
<i>Totaal</i>							<i>32 640</i>
<i>Aantal boringen</i>	<i>1 565</i>						<i>21 705 600</i>

Tabel 19: warmte-extractie uit grondboringen van 500 m diep + aantal boringen nodig

Energieverbruik eerste renovatiestrategie: historisch waardevolle gevel

BLOK 1	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	110	220	120	26 400	9,77	3 565,93	2 904 000	392 252,12
Appartement	47	100	120	12 000	4,88	1 782,96	564 000	83 799,32
Commercieel	5	60	128	7 680	0,61	22,87	38 400	1 114,35
Kantoor	1	200	128	25 600	0,61	222,87	25 600	222,87
School	1	5 756	183	1 053 348	43,15	15 749,52	1 053 348	15 749,52
Andere	2	200	128	25 600	24,42	8 914,82	51 200	17 829,81
<i>Totaal</i>	<i>166</i>						<i>4 636 548</i>	<i>510 967,81</i>

Tabel 20: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 1

BLOK 2	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	80	220	120	26 400	9,77	3 565,93	2 112 000	285 274,27
Appartement	78	100	120	12 000	4,88	1 782,96	936 000	139 071,21
Commercieel	3	60	128	7 680	0,61	22,87	23 040	668,61
Kantoor	–	–	–	–	–	–	–	–
School	–	–	–	–	–	–	–	–
Andere	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Totaal</i>	<i>161</i>						<i>3 071 040</i>	<i>425 014,08</i>

Tabel 21: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 2

BLOK 3	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	100	220	120	26 400	9,77	3 565,93	2 640 000	356 592,83
Appartement	29	100	120	12 000	4,88	1 782,96	348 000	51 705,96
Commercieel	21	60	128	7 680	0,61	22,87	161 280	4 680,28
Kantoor	-	-	-	-	-	-	-	-
School	1	11 820	183	1 053 348	75,71	27 635,94	2 163 060	27 635,94
Andere	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Totaal</i>	<i>151</i>						<i>5 312 340</i>	<i>440 615,02</i>

Tabel 22: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 3

BLOK 4	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	44	220	120	26 400	9,77	3 565,93	1 161 600	156 900,85
Appartement	-	-	-	-	-	-	-	-
Commercieel	-	-	-	-	-	-	-	-
Kantoor	-	-	-	-	-	-	-	-
School	-	-	-	-	-	-	-	-
Andere	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Totaal</i>	<i>44</i>						<i>1 161 600</i>	<i>156 900,85</i>

Tabel 23: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 4

BLOK 5	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	32	220	120	26 400	9,77	3 565,93	844 800	114 109,71
Appartement	-	-	-	-	-	-	-	-
Commercieel	1	60	128	7 680	0,61	22,87	7 680	222,87
Kantoor	-	-	-	-	-	-	-	-
School	-	-	-	-	-	-	-	-
Andere	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Totaal</i>	<i>33</i>						<i>852 480</i>	<i>114 332,58</i>

Tabel 24: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 5

BLOK 6	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	42	220	120	26 400	9,77	3 565,93	1 108 800	149 768,99
Appartement	6	100	120	12 000	4,88	1 782,96	72 000	10 697,79
Commercieel	-	-	-	-	-	-	-	-
Kantoor	-	-	-	-	-	-	-	-
School	-	-	-	-	-	-	-	-
Andere	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Totaal</i>	<i>48</i>						<i>1 180 800</i>	<i>160 466,78</i>

Tabel 25: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 6

BLOK 7	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	42	220	120	26 400	9,77	3 565,93	1 108 800	149 768,99
Appartement	6	100	120	12 000	4,88	1 782,96	72 000	10 697,79
Commercieel	7	60	128	7 680	0,61	22,87	53 760	1 040,06
Kantoor	-	-	-	-	-	-	-	-
School	-	-	-	-	-	-	-	-
Andere	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Totaal</i>	<i>55</i>						<i>1 234 560</i>	<i>161 506,84</i>

Tabel 26: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 7

BLOK 8	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	46	220	120	26 400	9,77	3 565,93	1 214 400	164 032,70
Appartement	32	100	120	12 000	4,88	1 782,96	384 000	57 054,85
Commercieel	-	-	-	-	-	-	-	-
Kantoor	-	-	-	-	-	-	-	-
School	1	10 665	183	1 053 348	61,26	22 361,34	1 951 695	22 361,34
Andere	1	200	128	25 600	24,42	8 914,82	25 600	8 914,82
<i>Totaal</i>	<i>80</i>						<i>3 575 695</i>	<i>252 363,72</i>

Tabel 27: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 8

Type	Totale behoefte verwarming [kWh/jaar]	Vollasturen [h] [64]	Energieverbruik [kW]
Residentieel	15 470 400	1 600	9 669,00
Commercieel	284 160	1 300	218,58
Kantoor	25 600	1 300	19,69
School	5 168 103	1 200	4 306,75
Andere	76 800	1 000	76,80
<i>Totaal</i>	<i>21 025 063</i>		<i>14 290,83</i>

Tabel 28: samenvattende tabel van de verwarmingsbehoefte van de wijk

Type	Dagelijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Residentieel	5 812,95	2 121 727,36
Commercieel	55,59	7 726,18
Kantoor	0,61	222,87
School	180,13	65 746,80
Andere	73,27	26 744,46
<i>Totaal</i>	<i>6 089,56</i>	<i>2 222 167,67</i>

Tabel 29: samenvattende tabel van de behoefte van sww van de wijk

Type	Dagelijkse behoefte voor sww per unit [kWh]	Opwekking door FlexTherm [kWh]	Opwekking door het net [kW]	Behoefte voor sww [kWh/jaar]
Rijhuis	9,77	9,77	201,91	445 809,43
Appartement	4,88	4,88	40,30	88 982,12
Commercieel	0,61	0,61	0,94	2 078,50
Kantoor	0,61	0,61	0,03	56,18
Sint-Jozef	43,15	43,15	1,80	3 969,74
Stedelijk Lyceum	75,71	75,71	3,15	6 965,77
Sint-Maria	61,26	61,26	2,55	5 636,28
Andere	24,42	24,42	3,05	6 741,07
<i>Totaal</i>	<i>220,43</i>		<i>253,73</i>	<i>560 239,09</i>

Tabel 30: opwekking sww door FlexTherm en het net indien de zon geen 2,5h per dag schijnt

Warmtenet	Totale energiebehoefte [kWh/jaar]	Totale energieverbruik [kW]
Verwarming + sww	21 585 302,09	14 544,56

Tabel 31: totale verbruik dat het warmtenet moet leveren: eerste renovatiestrategie

Energieopwekking eerste renovatiestrategie: historische waardevolle gevel

Totale energieverbruik [kW]	32 195,66	Aantal [-]
Vermogen warmtepomp [kW]	1 489	9,77
Inhoud buffervat [L]	10 000	14,54

Tabel 32: aantal warmtepompen en buffervaten

PVT-panelen	Aantal
Residentieel	5 420
Sint-Jozef	301
Jan Fabre/Troubleyn	146
Sint-Maria	345
Stedelijk Lyceum	125
Sint-Willibrordus	400
<i>Totaal</i>	<i>6 737</i>

Tabel 33: aantal PVT-panelen over de volledige wijk

Type	Vermogen [kWh/jaar]	Totaal vermogen [kWh/jaar]
DM300-M156-60BKS	1 028	6 925 636

Tabel 34: totale opgewekte vermogen van het aantal PVT-panelen

Type laag [100]	Samenstelling	Diepte [m]	Dikte [m]	Warmte-extractie [W/m] [112]	Warmte-extractie [W]	Vollasturen [h]	Warmte-extractie [kWh/jaar]
F. Berchem [101]	marien zand	25	15	65	325	1 500	488
Boomse Klei [102]	klei	88	63	40	2 520	1 500	3 780
F. Zelzate [103]	zand en klei	120	32	40	1 280	1 500	1 920
F. Maldegem [104]	marien zand en klei	165	45	65	2 925	1 500	4 388
F. Lede [105]	kalk en zand	185	20	40	800	1 500	1 200
F. Gentbrugge [106]	klei en zand	215	30	40	1 200	1 500	1 800
F. Tielt [107]	marien zand	240	25	65	1 625	1 500	2 438
F. Kortrijk [108]	marien klei	350	110	65	7 150	1 500	10 725
F. Tienen [109]	klei en zand	365	15	40	600	1 500	900
F. Hannut [110]	marien klei	420	55	65	3 575	1 500	5 363
F. Maastricht [111]	kalksteen	500	80	65	5 200	1 500	7 800
<i>Totaal</i>							<i>32 640</i>
<i>Aantal boringen</i>	<i>665</i>						<i>21 705 600</i>

Tabel 35: warmte-extractie uit grondboringen van 500 m diep + aantal boringen nodig

Energieverbruik tweede renovatiestrategie: volledige thermische schil

BLOK 1	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	110	220	70	15 400	9,77	3 565,93	1 694 000	392 252,12
Appartement	47	100	70	7 000	4,88	1 782,96	329 000	83 799,32
Commercieel	5	60	128	7 680	0,61	22,87	38 400	1 114,35
Kantoor	1	200	128	25 600	0,61	222,87	25 600	222,87
School	1	5 756	183	1 053 348	43,15	15 749,52	1 053 348	15 749,52
Andere	2	200	128	25 600	24,42	8 914,82	51 200	17 829,81
<i>Totaal</i>	<i>166</i>						<i>3 191 548</i>	<i>510 967,81</i>

Tabel 36: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 1

BLOK 2	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	80	220	70	15 400	9,77	3 565,93	1 232 000	285 274,27
Appartement	78	100	70	7 000	4,88	1 782,96	546 000	139 071,21
Commercieel	3	60	128	7 680	0,61	22,87	23 040	668,61
Kantoor	–	–	–	–	–	–	–	–
School	–	–	–	–	–	–	–	–
Andere	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Totaal</i>	<i>161</i>						<i>1 801 040</i>	<i>425 014,08</i>

Tabel 37: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 2

BLOK 3	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	100	220	70	15 400	9,77	3 565,93	1 540 000	356 592,83
Appartement	29	100	70	7 000	4,88	1 782,96	203 000	51 705,96
Commercieel	21	60	128	7 680	0,61	22,87	161 280	4 680,28
Kantoor	-	-	-	-	-	-	-	-
School	1	11 820	183	1 053 348	75,71	27 635,94	2 163 060	27 635,94
Andere	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Totaal</i>	<i>151</i>						<i>4 067 340</i>	<i>440 615,02</i>

Tabel 38: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 3

BLOK 4	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	44	220	70	15 400	9,77	3 565,93	677 600	156 900,85
Appartement	-	-	-	-	-	-	-	-
Commercieel	-	-	-	-	-	-	-	-
Kantoor	-	-	-	-	-	-	-	-
School	-	-	-	-	-	-	-	-
Andere	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Totaal</i>	<i>44</i>						<i>677 600</i>	<i>156 900,85</i>

Tabel 39: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 4

BLOK 5	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	32	220	70	15 400	9,77	3 565,93	492 800	114 109,71
Appartement	-	-	-	-	-	-	-	-
Commercieel	1	60	128	7 680	0,61	22,87	7 680	222,87
Kantoor	-	-	-	-	-	-	-	-
School	-	-	-	-	-	-	-	-
Andere	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Totaal</i>	<i>33</i>						<i>500 480</i>	<i>114 332,58</i>

Tabel 40: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 5

BLOK 6	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	42	220	70	15 400	9,77	3 565,93	646 800	149 768,99
Appartement	6	100	70	7 000	4,88	1 782,96	42 000	10 697,79
Commercieel	-	-	-	-	-	-	-	-
Kantoor	-	-	-	-	-	-	-	-
School	-	-	-	-	-	-	-	-
Andere	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Totaal</i>	<i>48</i>						<i>688 800</i>	<i>160 466,78</i>

Tabel 41: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 6

BLOK 7	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	42	220	70	15 400	9,77	3 565,93	646 800	149 768,99
Appartement	6	100	70	7 000	4,88	1 782,96	42 000	10 697,79
Commercieel	7	60	128	7 680	0,61	22,87	53 760	1 040,06
Kantoor	-	-	-	-	-	-	-	-
School	-	-	-	-	-	-	-	-
Andere	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Totaal</i>	<i>55</i>						<i>742 560</i>	<i>161 506,84</i>

Tabel 42: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 7

BLOK 8	Aantal	GVO [m ²]	Gemiddeld gasverbruik voor verwarming [kWh/ m ² /jaar] [59][60][60]	[kWh/jaar]	Dagelijkse behoefte sww [kWh]	Jaarlijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totaal verbruik verwarming [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Rijhuis	46	220	70	15 400	9,77	3 565,93	708 400	164 032,70
Appartement	32	100	70	7 000	4,88	1 782,96	224 000	57 054,85
Commercieel	-	-	-	-	-	-	-	-
Kantoor	-	-	-	-	-	-	-	-
School	1	10 665	183	1 053 348	61,26	22 361,34	1 951 695	22 361,34
Andere	1	200	128	25 600	24,42	8 914,82	25 600	8 914,82
<i>Totaal</i>	<i>80</i>						<i>2 909 695</i>	<i>252 363,72</i>

Tabel 43: totaal verbruik verwarming en sww per type gebouw: BLOK 8

Type	Totale behoefte verwarming [kWh/jaar]	Vollasturen [h] [64]	Energieverbruik [kW]
Residentieel	9 024 400	1 600	5 640,25
Commercieel	284 160	1 300	218,58
Kantoor	25 600	1 300	19,69
School	5 168 103	1 200	4 306,75
Andere	76 800	1 000	76,80
<i>Totaal</i>	<i>14 579 063</i>		<i>10 262,08</i>

Tabel 44: samenvattende tabel van de verwarmingsbehoefte van de wijk

Type	Dagelijkse behoefte sww [kWh/jaar]	Totale behoefte sww [kWh/jaar]
Residentieel	5 812,95	2 121 727,36
Commercieel	55,59	7 726,18
Kantoor	0,61	222,87
School	180,13	65 746,80
Andere	73,27	26 744,46
<i>Totaal</i>	<i>6 089,56</i>	<i>2 222 167,67</i>

Tabel 45: samenvattende tabel van de behoefte van sww van de wijk

Type	Dagelijkse behoefte voor sww per unit [kWh]	Opwekking door FlexTherm [kWh]	Opwekking door het net [kW]	Behoefte voor sww [kWh/jaar]
Rijhuis	9,77	9,77	201,91	445 809,43
Appartement	4,88	4,88	40,30	88 982,12
Commercieel	0,61	0,61	0,94	2 078,50
Kantoor	0,61	0,61	0,03	56,18
Sint-Jozef	43,15	43,15	1,80	3 969,74
Stedelijk Lyceum	75,71	75,71	3,15	6 965,77
Sint-Maria	61,26	61,26	2,55	5 636,28
Andere	24,42	24,42	3,05	6 741,07
<i>Totaal</i>	<i>220,43</i>		<i>253,73</i>	<i>560 239,09</i>

Tabel 46: opwekking sww door FlexTherm en het net indien de zon geen 2,5h per dag schijnt

Warmtenet	Totale energiebehoefte [kWh/jaar]	Totale energieverbruik [kW]
Verwarming + sww	15 139 302,09	10 515,81

Tabel 47: totale verbruik dat het warmtenet moet leveren: tweede renovatiestrategie

Energieopwekking tweede renovatiestrategie: volledige thermische schil

Totale energieverbruik [kW]	32 195,66	Aantal [-]
Vermogen warmtepomp [kW]	1 489	7,06
Inhoud buffervat [L]	10 000	10,52

Tabel 48: aantal warmtepompen en buffervaten

PVT-panelen	Aantal
Residentieel	5 420
Sint-Jozef	301
Jan Fabre/Troubleyn	146
Sint-Maria	345
Stedelijk Lyceum	125
Sint-Willibrordus	400
<i>Totaal</i>	<i>6 737</i>

Tabel 49: aantal PVT-panelen over de volledige wijk

Type	Vermogen [kWh/jaar]	Totaal vermogen [kWh/jaar]
DM300-M156-60BKS	1 028	6 925 636

Tabel 50: totale opgewekte vermogen van het aantal PVT-panelen

Type laag [100]	Samenstelling	Diepte [m]	Dikte [m]	Warmte-extractie [W/m] [112]	Warmte-extractie [W]	Vollasturen [h]	Warmte-extractie [kWh/jaar]
F. Berchem [101]	marien zand	25	15	65	325	1 500	488
Boomse Klei [102]	klei	88	63	40	2 520	1 500	3 780
F. Zelzate [103]	zand en klei	120	32	40	1 280	1 500	1 920
F. Maldegem [104]	marien zand en klei	165	45	65	2 925	1 500	4 388
F. Lede [105]	kalk en zand	185	20	40	800	1 500	1 200
F. Gentbrugge [106]	klei en zand	215	30	40	1 200	1 500	1 800
F. Tielt [107]	marien zand	240	25	65	1 625	1 500	2 438
F. Kortrijk [108]	marien klei	350	110	65	7 150	1 500	10 725
F. Tienen [109]	klei en zand	365	15	40	600	1 500	900
F. Hannut [110]	marien klei	420	55	65	3 575	1 500	5 363
F. Maastricht [111]	kalksteen	500	80	65	5 200	1 500	7 800
<i>Totaal</i>							<i>32 640</i>
<i>Aantal boringen</i>	<i>465</i>						<i>21 705 600</i>

Tabel 51: warmte-extractie uit grondboringen van 500 m diep + aantal boringen nodig

Financiële analyse warmtenet

Warmtenet		Levensduur [jaar]	Kost/rijwoning [€]	Kost/rijwoning [€]	Kost/ appartement [€]	Kost/rijwoning [€]	Jaarlijkse kost/ gebouw [€]
Aantal units			701	245 ¹	5 ²	1 197 ³	701
Leidingen	10,29						
Lengte [km]	10,29						
Kost/m [€]	3 000 ⁴						
Totale kost [€]	30 870 000	50	44 037,09	125 820,26	44 037,09	25 789,47	880,74
Aansluiting							
Kost/gebouw [€]	6 000 ⁵						
Totale kost [€]	3 258 000 ⁶	50	6 000	6 000	1 200	3 000	120
Grondboringen							
Kost/m [€]	22,00 [113]						
Aantal [-]	905						
Totale kost [€]	9 955 000	50	14 201,14	40 574,69	14 201,14	8 316,62	284,02

Tabel 52: totale kost en kost per unit bij de integratie van het warmtenet (1)

¹ Indien slechts 35% van de gebouwen achter het warmtenet staat.

² Gemiddeld aantal units per appartementencomplex in de wijk.

³ Indien alle woningen (495) door twee gezinnen wordt bewoond, bijvoorbeeld cohousing, kan de totale kost gedeeld worden door een extra aantal

⁴ Verkregen via mailverkeer met K. Enkels, Fluvius

⁵ Verkregen via mailverkeer met K. Enkels, Fluvius

⁶ Er zijn 543 verschillende gebouwen in de wijk

Warmtenet		Levensduur [jaar]	Kost/rijwoning [€]	Kost/rijwoning [€]	Kost/ appartement [€]	Kost/rijwoning [€]	Jaarlijkse kost/ gebouw [€]
Aantal units			701	245 ¹	5 ²	1 197 ³	701
Warmtepomp							
Aantal [-]	10						
Kost/eenheid [€]	200 000 ⁴						
Totale kost [€]	2 000 000	20	2 853,07	8 151,62	2 853,07	2 853,07	284,02
Buffervat							
Aantal [-]	15						
Kost/eenheid [€]	8 670 [120]						
Totale kost [€]	130 050	20	185,52	530,06	185,52	108,65	9,28
PVT-panels							
Kost/stuk [€]	599 [117]						
Aantal [-]	6 737						
Totale kost [€]	4 035 463 ⁵	30	5 756,72	16 447,78	5 756,72	3 371,31	191,89

Tabel 53: totale kost en kost per unit bij de integratie van het warmtenet (2)

1 Indien slechts 35% van de gebouwen achter het warmtenet staat.

2 Gemiddeld aantal units per appartementencomplex in de wijk.

3 Indien alle woningen (495) door twee gezinnen wordt bewoond, bijvoorbeeld cohousing, kan de totale kost gedeeld worden door een extra aantal.

4 Verkregen via mailverkeer met Vaillant

5 De aankoop van de PVT-panels wordt gezien als een groepsaankoop.

Onderhoudskost warmtenet

Warmtenet		Kost/ rijwoning [€]	Kost/ rijwoning [€]	Kost/ appartement [€]	Kost/ rijwoning [€]
Aantal units		701	245 ¹	5 ²	1 197 ³
Leidingen					
Kost/km/jaar [€]	10 000 [79]				
Totale kost [€]	102 900	146,79	419,40	146,79	85,96
Warmtepomp					
Kost/stuk [%]	2,00 [79]				
Kost/stuk/jaar [€]	4 000				
Totale kost [€]	40 000	57,06	163,03	57,06	33,42
Buffervat					
Kost/stuk [%]	0,50 [79]				
Kost/stuk/jaar [€]	43,35				
Totale kost [€]	620,25	0,93	2,65	0,93	0,54

Tabel 54: onderhoudskost per technische installatie van het warmtenet

¹ Indien slechts 35% van de gebouwen achter het warmtenet staat.

² Gemiddeld aantal units per appartementencomplex in de wijk.

³ Indien alle woningen (495) door twee gezinnen wordt bewoond, bijvoorbeeld cohousing, kan de totale kost gedeeld worden door een extra aantal.

Financiële analyse eerste renovatiestrategie: rijwoningen

Individueel	Eerste renovatiestrategie		Levensduur [€]	Kost/jaar [€]
Type	Rijhuis - 320 m ²	Rijhuis - 211 m ²		
Lucht/water-WP	61AF 035	ERLQ016CV3		
Vermogen [kW]	32,6	16,1		
T-regime [°C]	30/35	30/35		
Prijs [€]	17 900 [114]	11 031 [122]	20	1 126,10/551,55
Toebehoren [€]	4 622 [114]	-		
FlexTherm Eco	9E	9E		
Capaciteit [kWh]	10,5	10,5		
Prijs [€]	2 806 [80]	2 806 [80]	20	140,30
Voorraadvat	VPS 300/3-5			
Inhoud [L]	300	300		
Prijs [€]	981 [81]	981 [81]	20	49,05
Buffervat	PVREH-2 500			
Inhoud [L]	500	500		
Prijs [€]	1 083 [120]	1 083 [120]	20	54,15
PVT-panelen				
Prijs/stuk [€]	599 [117]	599 [117]		
Aantal [-]	10	10		
Prijs [€]	5 990	5 990	30	199,67
Totaal	33 382	21 891		

Tabel 55: kost van de technische installaties voor een rijwoning van 320 m² en 211 m² bij de eerste renovatiestrategie

Individueel	Eerste renovatiestrategie		Levensduur [€]	Kost/jaar [€]
Type	Rijhuis - 320 m ²	Rijhuis - 211 m ²		
Glaswol - hellend dak	10 cm	10 cm		
Oppervlakte [m ²]	82,80	61,60		
Prijs [€/m ²] [115]	9,42	9,42		
Prijs [€]	779,98	580,27	20	39/29,01
EPS - gevel	12 cm	12 cm		
Oppervlakte [m ²]	210,30	148,93		
Prijs [€/m ²] [115]	7,00	7,00		
Prijs [€]	1 472,10	1 042,51	20	73,61/52,13
Crepi				
Oppervlakte [m ²]	210,30	148,93		
Prijs [€/m ²] [115]	40	40		
Prijs [€]	8 412	5 957,20	20	420,60/297,86
Pleister - binnen				
Oppervlakte [m ²]	210,30	148,93		
Prijs [€/m ²] [115]	19,50	19,50		
Prijs [€]	4 100,85	2 904,14	20	205,04/145,21
EPS - kelder	12 cm	12 cm		
Oppervlakte [m ²]	98,84	77		
Prijs [€/m ²] [115]	7,00	7,00		
Prijs [€]	677,88	539	20	33,89/26,95
Pleister - kelder				
Oppervlakte [m ²]	26,40	24,20		
Prijs [€/m ²] [115]	19,50	19,50		
Prijs [€]	514,80	471,90	20	25,74/23,60
Tegels - kelder				
Oppervlakte [m ²]	70,44	52,8		
Prijs [€/m ²] [115]	67,73	67,73		
Prijs [€]	4 770,90	3 576,14	20	238,55/178,81
EPS - vloer	12 cm	12 cm		
Oppervlakte [m ²]	48,66	26,13		
Prijs [€/m ²] [115]	23,50	23,50		
Prijs [€]	1 143,51	613,94	20	57,18/30,70
Tegels - vloer				
Oppervlakte [m ²]	48,66	26,13		
Prijs [€/m ²] [115]	67,73	67,73		
Prijs [€]	3 295,74	1 769,45	20	164,79/88,47
PUR - plat dak	2 x 9 cm	2 x 9 cm		
Oppervlakte [m ²]	102	26,32		
Prijs [€/m ²] [115]	39,34	39,34		
Prijs [€]	4 012,68	1 035,43	20	200,63/51,77
EPDM - plat dak				
Oppervlakte [m ²]	102	26,32		
Prijs [€/m ²] [115]	25,16	25,16		
Prijs [€]	2 566,32	662,21	20	128,32/33,11
Ramen	Dubbel glas	Dubbel glas		
Oppervlakte [m ²]	39,76	21,11		
Prijs [€/m ²] [115]	85	85		
Prijs [€]	3 379,60	1 794,35	20	168,98/89,72
Kozijn + afwerking				
Aantal [-]	15	12		
Prijs [€/m ²] [115]	700	700		
Prijs [€]	10 500	8 400	20	525/420
Totaal	45 626,36	29 346,53		2 281,31/1 467,33

Tabel 56: kost van woningrenovatie voor een rijwoning van 320 m² en 211 m² bij de eerste renovatiestrategie

Financiële analyse tweede renovatiestrategie: rijwoningen

Individueel	Tweede renovatiestrategie	
Type	Rijhuis - 320 m ²	Rijhuis - 211 m ²
Lucht/water-WP	ERLQ014CV3	ERLQ011CV3
Vermogen [kW]	14,55	11,38
T-regime [°C]	30/35	30/35
Prijs [€]	10 448 [122]	10 049 [122]
Toebehoren [€]	-	-
FlexTherm Eco	9E	9E
Capaciteit [kWh]	10,5	10,5
Prijs [€]	2 806 [80]	2 806 [80]
Voorraadvat	VPS 300/3-5	
Inhoud [L]	300	300
Prijs [€]	981 [81]	981 [81]
Buffervat	PVREH-2 500	
Inhoud [L]	500	500
Prijs [€]	1 083 [120]	1 083 [120]
PVT-panelen		
Prijs/stuk [€]	599 [117]	599 [117]
Aantal [-]	10	10
Prijs [€]	5 990	5 990
Totaal	21 308	20 909

Tabel 57: kost van de technische installaties voor een rijwoning van 320 m² en 211 m² bij de tweede renovatiestrategie

Individueel	Tweede renovatiestrategie	
Type	Rijhuis – 320 m ²	Rijhuis – 211 m ²
Glaswol – hellend dak	10 cm	10 cm
Oppervlakte [m ²]	82,80	61,60
Prijs [€/m ²] [115]	9,42	9,42
Prijs [€]	779,98	580,27
EPS – gevel	12 cm	12 cm
Oppervlakte [m ²]	249,20	190,31
Prijs [€/m ²] [115]	7,00	7,00
Prijs [€]	1 744,40	1 332,17
Crepi		
Oppervlakte [m ²]	249,20	190,31
Prijs [€/m ²] [115]	40	40
Prijs [€]	9 968	7 612,40
Pleister – binnen		
Oppervlakte [m ²]	249,20	190,31
Prijs [€/m ²] [115]	19,50	19,50
Prijs [€]	4 859,40	3 711,05
EPS – kelder	12 cm	12 cm
Oppervlakte [m ²]	98,84	77
Prijs [€/m ²] [115]	7,00	7,00
Prijs [€]	677,88	539
Pleister – kelder		
Oppervlakte [m ²]	26,40	24,20
Prijs [€/m ²] [115]	19,50	19,50
Prijs [€]	514,80	471,90
Tegels – kelder		
Oppervlakte [m ²]	70,44	52,8
Prijs [€/m ²] [115]	67,73	67,73
Prijs [€]	4 770,90	3 576,14
EPS – vloer	12 cm	12 cm
Oppervlakte [m ²]	48,66	26,13
Prijs [€/m ²] [115]	23,50	23,50
Prijs [€]	1 143,51	613,94
Tegels – vloer		
Oppervlakte [m ²]	48,66	26,13
Prijs [€/m ²] [115]	67,73	67,73
Prijs [€]	3 295,74	1 769,45
PUR – plat dak	2 x 9 cm	2 x 9 cm
Oppervlakte [m ²]	102	26,32
Prijs [€/m ²] [115]	39,34	39,34
Prijs [€]	4 012,68	1 035,43
EPDM – plat dak		
Oppervlakte [m ²]	102	26,32
Prijs [€/m ²] [115]	25,16	25,16
Prijs [€]	2 566,32	662,21
Ramen	Dubbel glas	Dubbel glas
Oppervlakte [m ²]	39,76	21,11
Prijs [€/m ²] [115]	85	85
Prijs [€]	3 379,60	1 794,35
Kozijn + afwerking		
Aantal [-]	15	12
Prijs [€/m ²] [115]	700	700
Prijs [€]	10 500	8 400
Totaal	48 213,21	32 098,30

Tabel 58: kost van woningrenovatie voor een rijwoning van 320 m² en 211 m² bij de tweede renovatiestrategie

Financiële analyse eerste renovatiestrategie: rijwoningen, twee gezinnen

Individueel	Eerste renovatiestrategie	
Type	Rijhuis - 320 m ²	Rijhuis - 211 m ²
Lucht/water-WP	61AF 035	ERLQ016CV3
Vermogen [kW]	32,6	16,1
T-regime [°C]	30/35	30/35
Prijs [€]	17 900 [114]	11 031 [122]
Toebehoren [€]	4 622 [114]	-
FlexTherm Eco	2 x 6E	2 x 6E
Capaciteit [kWh]	7	7
Prijs [€]	4 846	4 846
Voorraadvat	SVV 150L ZB & Solar	
Inhoud [L]	150	150
Prijs [€]	2 855,10 [82]	2 844,10 [82]
Buffervat	PVREH-2 500	
Inhoud [L]	500	500
Prijs [€]	1 083 [120]	1 083 [120]
PVT-panelen		
Prijs/stuk [€]	599 [117]	599 [117]
Aantal [-]	10	10
Prijs [€]	5 990	5 990
Totaal	37 286,10	25 805,55
Totaal/gezin	18 648,05	12 902,55

Tabel 59: kost van de technische installaties voor een rijwoning van 320 m² en 211 m² bij de eerste renovatiestrategie, twee gezinnen

Individueel	Eerste renovatiestrategie	
Type	Rijhuis – 320 m ²	Rijhuis – 211 m ²
Glaswol – hellend dak	10 cm	10 cm
Oppervlakte [m ²]	82,80	61,60
Prijs [€/m ²] [115]	9,42	9,42
Prijs [€]	779,98	580,27
EPS – gevel	12 cm	12 cm
Oppervlakte [m ²]	210,30	148,93
Prijs [€/m ²] [115]	7,00	7,00
Prijs [€]	1 472,10	1 042,51
Crepi		
Oppervlakte [m ²]	210,30	148,93
Prijs [€/m ²] [115]	40	40
Prijs [€]	8 412	5 957,20
Pleister – binnen		
Oppervlakte [m ²]	210,30	148,93
Prijs [€/m ²] [115]	19,50	19,50
Prijs [€]	4 100,85	2 904,14
EPS – kelder	12 cm	12 cm
Oppervlakte [m ²]	98,84	77
Prijs [€/m ²] [115]	7,00	7,00
Prijs [€]	677,88	539
Pleister – kelder		
Oppervlakte [m ²]	26,40	24,20
Prijs [€/m ²] [115]	19,50	19,50
Prijs [€]	514,80	471,90
Tegels – kelder		
Oppervlakte [m ²]	70,44	52,8
Prijs [€/m ²] [115]	67,73	67,73
Prijs [€]	4 770,90	3 576,14
EPS – vloer	12 cm	12 cm
Oppervlakte [m ²]	48,66	26,13
Prijs [€/m ²] [115]	23,50	23,50
Prijs [€]	1 143,51	613,94
Tegels – vloer		
Oppervlakte [m ²]	48,66	26,13
Prijs [€/m ²] [115]	67,73	67,73
Prijs [€]	3 295,74	1 769,45
PUR – plat dak	2 x 9 cm	2 x 9 cm
Oppervlakte [m ²]	102	26,32
Prijs [€/m ²] [115]	39,34	39,34
Prijs [€]	4 012,68	1 035,43
EPDM – plat dak		
Oppervlakte [m ²]	102	26,32
Prijs [€/m ²] [115]	25,16	25,16
Prijs [€]	2 566,32	662,21
Ramen	Dubbel glas	Dubbel glas
Oppervlakte [m ²]	39,76	21,11
Prijs [€/m ²] [115]	85	85
Prijs [€]	3 379,60	1 794,35
Kozijn + afwerking		
Aantal [-]	15	12
Prijs [€/m ²] [115]	700	700
Prijs [€]	10 500	8 400
Totaal	45 626,36	29 346,53
Totaal/gezin	22 813,18	14 673,27

Tabel 60: kost van woningrenovatie voor een rijwoning van 320 m² en 211 m² bij de eerste renovatiestrategie, twee gezinnen

Financiële analyse tweede renovatiestrategie: rijwoningen, twee gezinnen

Individueel	Tweede renovatiestrategie	
Type	Rijhuis - 320 m ²	Rijhuis - 211 m ²
Lucht/water-WP	ERLQ014CV3	ERLQ011CV3
Vermogen [kW]	14,55	11,38
T-regime [°C]	30/35	30/35
Prijs [€]	10 448 [122]	10 049 [122]
Toebehoren [€]	-	-
FlexTherm Eco	2 x 6E	2 x 6E
Capaciteit [kWh]	7	7
Prijs [€]	4 846 [116]	4 846 [116]
Voorraadvat	SVV 150 ZB & Solar	
Inhoud [L]	150	150
Prijs [€]	2 855 [82]	2 855 [82]
Buffervat	PVREH-2 500	
Inhoud [L]	500	500
Prijs [€]	1 083 [120]	1 083 [120]
PVT-panelen		
Prijs/stuk [€]	599 [117]	599 [117]
Aantal [-]	10	10
Prijs [€]	5 990	5 990
Totaal	25 222,10	24 823,10
Totaal/gezin	12 611,05	12 411,55

Tabel 61: kost van de technische installaties voor een rijwoning van 320 m² en 211 m² bij de tweede renovatiestrategie, twee gezinnen

Individueel	Tweede renovatiestrategie	
Type	Rijhuis – 320 m ²	Rijhuis – 211 m ²
Glaswol – hellend dak	10 cm	10 cm
Oppervlakte [m ²]	82,80	61,60
Prijs [€/m ²] [115]	9,42	9,42
Prijs [€]	779,98	580,27
EPS – gevel	12 cm	12 cm
Oppervlakte [m ²]	249,20	190,31
Prijs [€/m ²] [115]	7,00	7,00
Prijs [€]	1 744,40	1 332,17
Crepi		
Oppervlakte [m ²]	249,20	190,31
Prijs [€/m ²] [115]	40	40
Prijs [€]	9 968	7 612,40
Pleister – binnen		
Oppervlakte [m ²]	249,20	190,31
Prijs [€/m ²] [115]	19,50	19,50
Prijs [€]	4 859,40	3 711,05
EPS – kelder	12 cm	12 cm
Oppervlakte [m ²]	98,84	77
Prijs [€/m ²] [115]	7,00	7,00
Prijs [€]	677,88	539
Pleister – kelder		
Oppervlakte [m ²]	26,40	24,20
Prijs [€/m ²] [115]	19,50	19,50
Prijs [€]	514,80	471,90
Tegels – kelder		
Oppervlakte [m ²]	70,44	52,8
Prijs [€/m ²] [115]	67,73	67,73
Prijs [€]	4 770,90	3 576,14
EPS – vloer	12 cm	12 cm
Oppervlakte [m ²]	48,66	26,13
Prijs [€/m ²] [115]	23,50	23,50
Prijs [€]	1 143,51	613,94
Tegels – vloer		
Oppervlakte [m ²]	48,66	26,13
Prijs [€/m ²] [115]	67,73	67,73
Prijs [€]	3 295,74	1 769,45
PUR – plat dak	2 x 9 cm	2 x 9 cm
Oppervlakte [m ²]	102	26,32
Prijs [€/m ²] [115]	39,34	39,34
Prijs [€]	4 012,68	1 035,43
EPDM – plat dak		
Oppervlakte [m ²]	102	26,32
Prijs [€/m ²] [115]	25,16	25,16
Prijs [€]	2 566,32	662,21
Ramen	Dubbel glas	Dubbel glas
Oppervlakte [m ²]	39,76	21,11
Prijs [€/m ²] [115]	85	85
Prijs [€]	3 379,60	1 794,35
Kozijn + afwerking		
Aantal [-]	15	12
Prijs [€/m ²] [115]	700	700
Prijs [€]	10 500	8 400
Totaal	48 213,21	32 098,30
Totaal/gezin	24 106,60	16 049,15

Tabel 62: kost van woningrenovatie voor een rijwoning van 320 m² en 211 m² bij de tweede renovatiestrategie, twee gezinnen

Financiële analyse eerste renovatiestrategie: appartementen

Individueel	Eerste renovatiestrategie
Type	8 units - 91,2 m ²
Lucht/water-WP	61AF 075
Vermogen [kW]	64,9
T-regime [°C]	30/35
Prijs [€]	29 300 [114]
Toebehoren [€]	6 569 [114]
FlexTherm Eco	8 x 6E
Capaciteit [kWh]	7
Prijs [€]	19 384 [116]
Voorraadvat	SVV 150 ZB & Solar
Inhoud [L]	150
Prijs [€]	11 420,40 [82]
Buffervat	PVREH-2 1 000
Inhoud [L]	1 000
Prijs [€]	1 608 [120]
PVT-panelen	
Prijs/stuk [€]	599 [117]
Aantal [-]	10
Prijs [€]	5 990
Totaal	74 271,40
Totaal/unit	9 283,93

Tabel 63: kost van de technische installaties voor een appartement met 8 units bij de eerste renovatiestrategie

Individueel	Eerste renovatiestrategie
Type	8 units - 91,2 m ²
EPS - gevel	12 cm
Oppervlakte [m ²]	778,62
Prijs [€/m ²] [115]	7,00
Prijs [€]	5 450,34
Crepi	
Oppervlakte [m ²]	778,62
Prijs [€/m ²] [115]	40
Prijs [€]	31 144,80
Pleister - binnen	
Oppervlakte [m ²]	778,62
Prijs [€/m ²] [115]	19,50
Prijs [€]	15 183,09
EPS - kelder	12 cm
Oppervlakte [m ²]	223,12
Prijs [€/m ²] [115]	7,00
Prijs [€]	1 561,83
Pleister - kelder	
Oppervlakte [m ²]	41,12
Prijs [€/m ²] [115]	19,50
Prijs [€]	801,80
Tegels - kelder	
Oppervlakte [m ²]	182
Prijs [€/m ²] [115]	67,73
Prijs [€]	12 326,86
EPS - vloer	12 cm
Oppervlakte [m ²]	33
Prijs [€/m ²] [115]	23,50
Prijs [€]	775,50
Tegels - vloer	
Oppervlakte [m ²]	33
Prijs [€/m ²] [115]	67,73
Prijs [€]	2 235,09
PUR - plat dak	2 x 9 cm
Oppervlakte [m ²]	245
Prijs [€/m ²] [115]	39,34
Prijs [€]	9 638,30
EPDM - plat dak	
Oppervlakte [m ²]	245
Prijs [€/m ²] [115]	25,16
Prijs [€]	6 164,20
Ramen	Dubbel glas
Oppervlakte [m ²]	96,50
Prijs [€/m ²] [115]	85
Prijs [€]	8 202,50
Kozijn + afwerking	
Aantal [-]	21
Prijs [€/m ²] [115]	700
Prijs [€]	14 700
Totaal	108 184,31
Totaal/unit	13 523,04

Tabel 64: kost van woningrenovatie voor een appartement met 8 units bij de eerste renovatiestrategie

Financiële analyse tweede renovatiestrategie: appartementen

Individueel	Tweede renovatiestrategie	Levensduur [jaren]	Kost/jaar/unit [€]
Type	8 units - 91,2 m ²		
Lucht/water-WP	61AF 035		
Vermogen [kW]	32,6		
T-regime [°C]	30/35		
Prijs [€]	17 900 [114]	20	140,76
Toebehoren [€]	4 622 [114]		
FlexTherm Eco	8 x 6E		
Capaciteit [kWh]	7		
Prijs [€]	19 384 [116]	20	121,15
Voorraadvat	SVV 150 ZB & Solar		
Inhoud [L]	150		
Prijs [€]	11 420,40 [82]	20	71,38
Buffervat	PVREH-2 1 000		
Inhoud [L]	1 000		
Prijs [€]	1 608 [120]	20	10,05
PVT-panelen			
Prijs/stuk [€]	599 [117]		
Aantal [-]	10		
Prijs [€]	5 990	30	24,96
<i>Totaal</i>	<i>60 924</i>		
<i>Totaal/unit</i>	<i>7 615,55</i>		<i>368,30</i>

Tabel 65: kost van de technische installaties voor een appartement met 8 units bij de tweede renovatiestrategie

Individueel	Tweede renovatiestrategie	Levensduur [jaren]	Kost/jaar/unit [€]
Type	8 units - 91,2 m ²		
EPS - gevel	12 cm		
Oppervlakte [m ²]	863,09		
Prijs [€/m ²] [115]	7,00		
Prijs [€]	6 041,63	20	37,76
Crepi			
Oppervlakte [m ²]	778,62		
Prijs [€/m ²] [115]	4,0		
Prijs [€]	31 144,80	20	194,66
Pleister - binnen			
Oppervlakte [m ²]	863,09		
Prijs [€/m ²] [115]	19,50		
Prijs [€]	16 830,26	20	105,19
EPS - kelder	12 cm		
Oppervlakte [m ²]	223,12		
Prijs [€/m ²] [115]	7,00		
Prijs [€]	1 561,83	20	9,76
Pleister - kelder			
Oppervlakte [m ²]	41,12		
Prijs [€/m ²] [115]	19,50		
Prijs [€]	801,80	20	5,01
Tegels - kelder			
Oppervlakte [m ²]	182		
Prijs [€/m ²] [115]	67,73		
Prijs [€]	12 326,86	20	77,04
EPS - vloer	12 cm		
Oppervlakte [m ²]	33		
Prijs [€/m ²] [115]	23,50		
Prijs [€]	775,50	20	4,84
Tegels - vloer			
Oppervlakte [m ²]	33		
Prijs [€/m ²] [115]	67,73		
Prijs [€]	2 235,09	20	13,96
PUR - plat dak	2 x 9 cm		
Oppervlakte [m ²]	245		
Prijs [€/m ²] [115]	39,34		
Prijs [€]	9 638,30	20	60,23
EPDM - plat dak			
Oppervlakte [m ²]	245		
Prijs [€/m ²] [115]	25,16		
Prijs [€]	6 164,20	20	38,53
Ramen	Dubbel glas		
Oppervlakte [m ²]	96,50		
Prijs [€/m ²] [115]	85		
Prijs [€]	8 202,50	20	51,27
Kozijn + afwerking			
Aantal [-]	21		
Prijs [€/m ²] [115]	700		
Prijs [€]	14 700	20	91,88
Totaal	108 184,31		
Totaal/unit	13 523,04		690,14

Tabel 66: kost van woningrenovatie voor een appartement met 8 units bij de tweede renovatiestrategie

Technische fiches

Voordelen PowerProfit PVT-paneel

- Unieke combinatie met elektrische en thermische opbrengst
- Twee functies in hetzelfde dakvlak = dubbele inzet per m²
- Esthetisch design
- Zeer hoge elektrische opbrengst geoptimaliseerd door (MPPT) per module, η 98,8%
- Toename van elektrische opbrengst tot 20%
- Hoge thermische opbrengst ($\sim$ 300 Watt/paneel)
- Geen bevriezingsgevaar door toepassing van glycol
- 1 volts veiligheidsspanning tijdens installatie of bij storing (per paneel)

PV-paneel

Het toegepast DMEGC PV-paneel heeft een zwarte backsheet en zwart aluminium frame. Dit paneel is standaard voorzien van een geïntegreerde SolarEdge OPJ300-LV power optimizer. Deze PV-panelen zijn alleen te combineren met een SolarEdge omvormer.

Het paneel heeft de nieuwste PERC-monokristallijncellen van 6" met een zeer hoge efficiency van 18,33%. Deze efficiency wordt gehaald door toepassing van PERC-cellen die in eigen productie door DMEGC worden vervaardigd en die PID-vrij zijn. Het paneel is volledig EL-getest en geproduceerd volgens de gekwalificeerde eisen ISO 9001 en 14001, IEC 61215, 61730 en CE UL 1703. Dit paneel is aansluitend in Europa getest door TÜV Sud, BABT en IEC.

Het is mogelijk om de panelen te verzekeren bij Solarif. Het KIWA heeft deze verzekeraar hiervoor gecertificeerd. In Nederland geldt in dat geval dat verzekering van garantie automatisch wordt overgenomen door Solar Insurance & Finance. Daarnaast wordt een vermogensgarantie afgegeven voor het paneel voor 90% in de eerste 10 jaar, 80% over 25 jaar en 10 jaar productgarantie. Voor de optimizer geldt een productgarantie van 25 jaar. De panelen zijn recyclebaar volgens de gecertificeerde processen van PV-CYCLE. Dit houdt in dat er op milieuvriendelijke wijze gerecycled kan worden.

Elektrische gegevens	
Nominaal vermogen in Wattpiek (Wp)	300
Vermogenstolerantie P _{max} (%)	0 ⁻ +3
Maximale vermogen spanning V _{mp} (V)	32,61
Maximale vermogen stroom I _{mp} (A)	9,21
Open klemspanning V _{oc} (V)	39,80
Kortsluitstroom I _{sc} (A)	9,69
Paneel efficiency η (%)	18,33
Cell efficiency η (%)	21
Nominale bedrijfstemperatuur cellen (NOCT)	45 °C $\pm$ 2 °C
Temperatuur coëfficiënt of P _{max}	-0,390% / °C
Temperatuur coëfficiënt of V _{oc}	-0,300% / °C
Temperatuur coëfficiënt of I _{sc}	+0,060% / °C
Maximale systeemspanning	600V DC (UL) / 1000V DC (IEC)
Maximale circuitstroom	15 A

Thermische gegevens	
Afmetingen	Zie paneelmaat
Vloeistof	glycol -20°C
Opslagvolume	13,6 L
Warmteopnemend oppervlak	1,28 m ²
PVT-collectormateriaal	Polypropyleen UVgestabiliseerd
Maximale systeemtemperatuur	< 70°C
Maximale vloeistoftemperatuur	$\sim$ 50°C
Thermische opbrengst i.c.m. een warmtepomp	1.028kWh ofwel 3,7 GJ/jaar per paneel
Thermische opbrengst in boilersituatie	178Kwh ofwel 0,64 GJ/jaar per paneel

Technische fiche 1: PVT DM300-M156-60BKS [117]

Veel voordelen

De innovatieve FlexTherm Eco biedt veel voordelen, zowel qua techniek als gebruik en milieuprestaties. Het toestel past met zijn geringe afmetingen (in elke woning en behoeft slechts een derde van de ruimte die een gemiddelde boiler inneemt. De batterij is makkelijk te installeren (een water- en 230 V elektra-aansluiting volstaan) en is onderhoudsarm (geen bewegende delen). De gebruiker kan oneindig vaak op- en ontladen zonder verlies van rendement.

Het apparaat werkt snel en efficiënt dankzij de hoge warmteopname en -afgifte en heeft een uiterst gering warmteverlies (27W), mede dankzij het vacuüm isolatiepaneel. FlexTherm Eco warmt in slechts 2,5 uur volledig op.

Verder is het toestel schoon en milieuvriendelijk, omdat het geen gasen verbrandt, geen giftige stoffen bevat en 100% recyclebaar is.

FlexTherm Eco										
Type	Opslag-capaciteit [kWh]	Max. werkdruk [bar]	Aansluitingen		Afmetingen			Gewicht [kg]		Code-nummer
			A-D [mm]	E [mm]	Breedte [mm]	Lengte [mm]	Hoogte [mm]			
FlexTherm Eco 3E	3,5	10,0	22 koper	230V (16A)	360	570	445	70	1	18200
FlexTherm Eco 6E	7,0	10,0	22 koper	230V (16A)	360	570	645	120	1	18201
FlexTherm Eco 9E	10,5	10,0	22 koper	230V (16A)	360	570	880	170	1	18202

Specificaties

Type	FlexTherm Eco		
	3E	6E	9E
ErP Rating klasse – Warm water opslag (bij stilstandverlies)	A+	A+	A+
Opslag capaciteit [Tc=75°C] [kWh]	3,5	7,0	10,5
Volume water – Laag vermogen warmtewisselaar [B-C] [l]	1,30	2,36	3,46
Volume Water – Hoog vermogen warmtewisselaar [A-D] [l]	2,24	4,48	6,76
V40, Tapvolume water tot minimaal 40°C [l]	85	185	300
Warmteverlies per 24 uur [kWh/24h]	0,449	0,649	0,738
Warmteverlies per uur [W]	18,7	27,0	30,7
Aanbevolen hoog maximale debiet hoog vermogen [l/min]	6	15	20
Min. druk wateraansluiting (werkdruk) [bar]	1,0	1,5	1,5
Max. werkdruk [bar]	10,0	10,0	10,0
Drukval over de warmtewisselaars			
K _v waarde laag vermogen warmtewisselaar (LPC)	1,623	1,255	1,066
K _v waarde hoog vermogen warmtewisselaar (HPC)	2,871	2,356	1,951
Min. aanvoertemperatuur bij thermisch laden [°C]	65	65	65
Max. aanvoertemperatuur bij thermisch laden [°C]	80	80	80
Ontlaad watertemperatuur @ debiet < aanbevolen max. debiet [°C]	50 - 55	50 - 55	50 - 55
Max. stroomsterkte besturing 230V, AC, 50Hz [A]	6	6	6
Max. stroomsterkte verwarmingselement 230V, AC, 50Hz [A]	16	16	16
Standby verbruik [W]	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Electr. vermogen verwarmingselement 230V, AC, 50Hz [kW]	2,8	2,8	2,8

Multi-inzetbaar

FlexTherm Eco is een unieke oplossing voor met name installateurs en woningbouwcorporaties die nieuwe mogelijkheden zoeken om energie op te slaan. Deze behoefte groeit omdat er efficiëntere oplossingen nodig zijn om duurzaam opgewekte energie op te slaan. FlexTherm Eco is voornamelijk bestemd voor kleinverbruik, zoals in woningen en appartementen. Dankzij het ultra-compacte formaat en montagegemak is het toestel ook geschikt voor renovatieprojecten.

Bovendien past het toestel door zijn thermische werking naadloos in de transitie naar gasloze woningen.

Verder maakt FlexTherm Eco de energievoorziening in combinatie met bijvoorbeeld PV-panelen (voor elektriciteit) en een warmtepomp (voor ruimteverwarming) CO₂-neutraal.



Technische fiche 2: FlexTherm Eco [118]

Vitocal 350-G Pro (vervolg)

Werkingspunt	W B	°C °C	65						
			0	5	10	15	20	25	30
Verwarmingsvermogen Hanbell	kW		967	1117	1250	1417	1581	1762	1954
Koelvermogen Hanbell	kW		575	703	820	972	1124	1292	1472
Opgenomen elektrisch vermogen Hanbell	kW		404	427	443	458	471	484	497
Vermogenscoëfficiënt ε (COP) Hanbell	kW		2,39	2,62	2,82	3,09	3,36	3,64	3,93
EER Hanbell			1,42	1,65	1,85	2,12	2,39	2,67	2,96

Vermogensgegevens type BW 352.AS1190SDH/BW 352.AS1190SAH

Vermogensgegevens type BW 32AS1150SDBW 32AS1150SA										
Werkingspunt	W B	°C °C	35							
			-5	0	5	10	15	20	25	30
Verwarmingsvermogen Hanbell	kW		971	1128	1301	1489	1682	1827	2078	2343
Koelvermogen Hanbell	kW		747	896	1057	1233	1418	1567	1804	2056
Opgenomen elektrisch vermogen Hanbell	kW		230	240	252	264	273	288	281	296
Vermogenscoëfficiënt ε (COP) Hanbell	kW		4,21	4,71	5,17	5,65	6,17	6,81	7,38	7,91
EER Hanbell			3,24	3,74	4,20	4,68	5,20	5,84	6,41	6,94

Werkingspunt	W B	°C °C	40							
			-5	0	5	10	15	20	25	30
Verwarmingsvermogen Hanbell	kW		959	1120	1290	1479	1679	1888	2124	2379
Koelvermogen Hanbell	kW		705	860	1021	1201	1392	1594	1819	2064
Opgenomen elektrisch ver- mogen Hanbell	kW		262	267	277	286	296	303	315	324
Vermogenscoëfficiënt ε (COP) Hanbell	kW		3,66	4,19	4,66	5,16	5,67	6,22	6,75	7,33
EER Hanbell			2,69	3,22	3,69	4,19	4,70	5,25	5,78	6,36

Werkingspunt	W B	°C °C	45							
			-5	0	5	10	15	20	25	30
Verwarmingsvermogen Hanbell	kW		959	1113	1257	1465	1671	1882	2124	2352
Koelvermogen Hanbell	kW		675	820	987	1159	1351	1552	1779	1994
Opgenomen elektrisch ver- mogen Hanbell	kW		293	303	309	316	329	340	356	369
Vermogenscoëfficiënt ε (COP) Hanbell	kW		3,27	3,68	4,17	4,63	5,07	5,53	5,97	6,38
EER Hanbell			2,30	2,71	3,20	3,66	4,10	4,56	5,00	5,41

Werkingspunt	W B	°C °C	50							
			-5	0	5	10	15	20	25	30
Verwarmingsvermogen Hanbell	kW		951	1110	1274	1453	1649	1851	2074	2330
Koelvermogen Hanbell	kW		637	783	936	1107	1292	1488	1695	1932
Opgenomen elektrisch ver- mogen Hanbell	kW		323	337	349	356	367	374	390	411
Vermogenscoëfficiënt ε (COP) Hanbell	kW		2,94	3,30	3,65	4,08	4,49	4,95	5,32	5,67
EER Hanbell			1,97	2,33	2,68	3,11	3,52	3,98	4,35	4,70

Werkingspunt	W B	°C °C	55							
			-5	0	5	10	15	20	25	30
Verwarmingsvermogen Hanbell	kW		955	1099	1258	1441	1639	1845	2065	2299
Koelvermogen Hanbell	kW		615	745	893	1065	1247	1436	1639	1854
Opgenomen elektrisch ver- mogen Hanbell	kW		351	365	377	388	404	422	439	458
Vermogenscoëfficiënt ε (COP) Hanbell	kW		2,73	3,01	3,34	3,72	4,06	4,38	4,70	5,01
EER Hanbell			1,76	2,04	2,37	2,75	3,09	3,41	3,73	4,04

5547 344 NL

VITOCAL

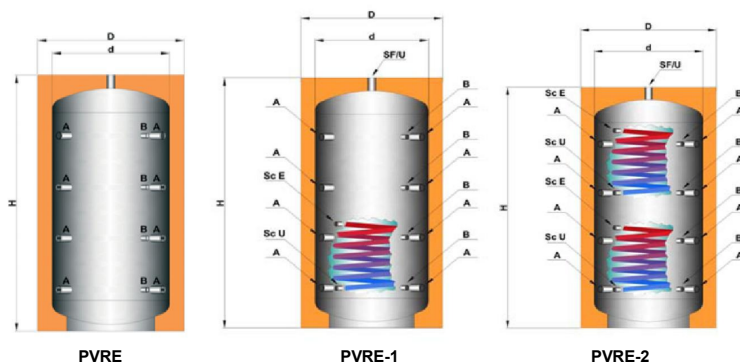
KWT
viðbeveitt

47

5.0 CV-WATER BUFFERVAT KOOLSTOFSTAAL voorzien van ISOLATIE (PVRE)



- Koolstofstaal buffervat voor CV-water met isolatie met PVC beschermhoes
- Buitenzijde buffervat behandeld met een anti roest primer
- Isolatie 300 - 500 ltr uitgevoerd met 50 mm PU schuim
- Isolatie 800 - 10000 ltr uitgevoerd met 100 mm PLF (H)
- Min / Max temperatuur water +15°C / +95 °C
- Maximale werkdruk is 6 Bar ≤ 1000 liter en 6 Bar ≥ 1500 liter
- Tegen meerprijs uitgevoerd met flenzen / water verdeelpijpen (zie blad 2.0)
- I.v.m. Ecodesign buffervat met flenzen opvragen bij InterClima
- Buffervaten tot en met 2000 liter geleverd conform ErP (Ecodesign)



STAAL						
Ecodesign	Type	vertikaal	Type	1 spiraal	Type	2 spiralen
energieklasse	bestelnr.	prijzen	bestelnr.	prijzen	bestelnr.	prijzen
C	PVREH 300	€ 774	PVREH-1 300	€ 840	PVREH-2 300	€ 935
C	PVREH 500	€ 865	PVREH-1 500	€ 970	PVREH-2 500	€ 1.083
C	PVR EH 800	€ 1.248	PVREH-1 800	€ 1.392	PVREH-2 800	€ 1.500
C	PVREH 1000	€ 1.320	PVREH-1 1000	€ 1.500	PVREH-2 1000	€ 1.608
C	PVREH 1500	€ 2.295	PVREH-1 1500	€ 2.768	PVREH-2 1500	€ 3.146
C	PVREH 2000	€ 2.649	PVREH-1 2000	€ 3.216	PVREH-2 2000	€ 3.594
-	PVRE 2500	€ 3.179	PVRE-1 2500	€ 3.793	PVRE-2 2500	€ 4.360
-	PVRE 3000	€ 3.593	PVRE-1 3000	€ 4.207	PVRE-2 3000	€ 4.774
-	PVRE 4000	€ 4.254				
-	PVRE 5000	€ 5.145				
-	PVRE 6000	€ 5.931				
-	PVRE 7000	€ 6.506				
-	PVRE 8000	€ 6.979				
-	PVRE 9000	€ 7.536				
-	PVRE 10000	€ 8.670				

Type	Verticaal		Gewicht	Aansluit diameter			Spiraal 1	Spiraal 2
Capaciteit	Diameter	Hoogte		Gasdraad (binnen)			oppervlak	
(ltr.)	(mm)	(mm)	(kg)	A (8x)	B (4x)	ontluchting	m2	m2
300	650	1490	45	1 1/2"	1/2"	1 1/4"	1,5	1
500	760	1630	75	1 1/2"	1/2"	1 1/4"	2,3	2
800	990	1760	100	1 1/2"	1/2"	1 1/4"	2,8	2
1000	990	2060	115	1 1/2"	1/2"	1 1/4"	3	3
1500	1150	2420	210	1 1/2"	1/2"	1 1/4"	4	4
2000	1300	2460	250	1 1/2"	1/2"	1 1/4"	4,5	4,5
2500	1400	2640	310	1 1/2"	1/2"	1 1/4"	4,5	4,5
3000	1450	2840	295	1 1/2"	1/2"	1 1/4"	6	4,5
4000	1600	2920	450	1 1/2"	1/2"	1 1/4"	-	-
5000	1800	3010	530	1 1/2"	1/2"	1 1/4"	-	-
6000	1800	3540	-	1 1/2"	1/2"	1 1/4"	-	-
7000	1800	4040	-	1 1/2"	1/2"	1 1/4"	-	-
8000	1800	4540	-	1 1/2"	1/2"	1 1/4"	-	-
9000	1800	5040	-	1 1/2"	1/2"	1 1/4"	-	-
10000	1900	5020	-	1 1/2"	1/2"	1 1/4"	-	-

Technische fiche 4: buffervat PVRE 10 000/PVREH-2 500/1 000 [120]

Specificaties

allSTOR plus	VPS 300/3-5	VPS 500/3-5	VPS 800/3-5	VPS 1000/3-5	VPS 1500/3-5	VPS 2000/3-5
Belangrijkste technische gegevens						
Bruto richtprijzen excl BTW (€)	981	1130	1408	1576	2364	2574
Type	Buffervat	Buffervat	Buffervat	Buffervat	Buffervat	Buffervat
ErP - Energieklasse buffervat (A+ tot F)	B	B	B	B	B	B
Inhoud (l)	303	491	778	962	1505	1917
Onderhoudsverbruik (kWh/24h)	1,7	2	2,4	2,5	2,9	3,3
Hoogte (mm)	1.833	1.813	1.944	2.324	2.362	2.485
Breedte (mm)	780	930	1070	1070	1400	1500
Diepte (mm)	780	930	1070	1070	1400	1500
Gewicht leeg/gevuld (kg)	60/363	80/571	110/88	125/1087	180/1685	200/2117

Technische fiche 5: buffervat sww VPS 300/3-5 [81]



Voorraadvat SVV 150L ZB & Solar

Materiaal boilervat	Roestvaststaal (RVS)
Materiaal mantel	Kunststof
Oppervlaktebescherming vat	Geen (onbehandeld)
Inhoud	150 l
Max. werktemperatuur	80 °C
Max. werkdruk	8 bar
Isolatiemateriaal	Geëxpandeerd polystyreen (EPS)
Met dompelbuis	nee
Recirculatie aansluiting	nee
Met aftapmogelijkheid (aansluiting)	nee
Verticale plaatsing	ja
Hoogte	1066 mm
Breedte	705 mm
Diepte	705 mm
Diameter	705 mm
Aansluiting koud drinkwater	Flens
Uitwendige buisdiameter koud drinkwater	15 mm
Aansluiting warm water	Knel-/soldeereind
Uitwendige buisdiameter warm drinkwater	15 mm
Energie-efficiëntieklasse	A

Technische fiche 6: buffervat SVV 150L ZB & Solar [82]

Technische gegevens

61AF		022	030	035	045	055	075	105
Gebruik als warmtepomp - conform EN14511-3:2013*								
Nominale verwarmingscapaciteit	H1 kW	20,8	25,8	32,4	43,9	52,4	66,8	102
COP	H1 kW/kW	3,50	3,51	3,45	3,67	3,70	3,43	3,59
Eurovent klasse, verwarming	H1	A	A	A	A	A	A	A
Nominale verwarmingscapaciteit	H2 kW	20,9	26,3	32,6	44,3	52,2	64,9	101,9
COP	H2 kW/kW	4,15	4,19	4,14	4,40	4,39	3,98	4,25
Gebruik als warmtepomp**								
Nominale verwarmingscapaciteit	H1 kW	20,8	25,7	32,4	43,8	52,2	66,7	101,7
COP	H1 kW/kW	3,52	3,53	3,48	3,69	3,73	3,45	3,62
Nominale verwarmingscapaciteit	H2 kW	20,8	26,2	32,5	44,2	52,0	64,7	101,6
COP	H2 kW/kW	4,19	4,23	4,17	4,44	4,44	4,01	4,30
Seizoensefficiëntie	H3 SCOP	2,68	2,70	2,77	2,98	3,01	2,80	2,96
	H3 Eas	104	105	108	116	117	109	115
	H3 P rated	19	23	30	41	51	58	87
Bedrijfgewicht***								
Standaard unit (zonder hydromodule)	kg	340	396	411	500	523	900	1020
Standaard unit (met hydromodule)	kg	352	408	425	564	588	956	1076
Geluidsniveaus								
Geluidsvermogen****	dB(A)	77	78	83	82	84	84	85
Geluidsdruk niveau op 10 m*****	dB(A)	46	46	51	53	53	52	53
Afmetingen								
Lengte x diepte x hoogte	mm	1110 x 1327 x 1330			1114 x 2100 x 1330		2273 x 2100 x 1330	
Compressor								
Aantal		Hermetische scroll, 48,3 r/s						
Aantal capaciteitsstappen		1	1	1	1	1	2	2
Koudemiddel								
Bedrijfsvulling	kg	R-407C GWP:1774						
	teqCO ₂	8,0	8,8	9,7	10,0	13,2	22,0	26,5
		14,2	15,6	17,2	17,7	23,4	39,0	47,0
Capaciteitsregeling								
Minimum capaciteit	%	Pro-Dialog+ 100 100 100 100 100 50 50						
Condensors								
Waterinhoud	l	Directe expansie gelaste platen-warmtewisselaar 4,9 6,4 8,2 9,6 12,1 16,4 22,7						
Max. bedrijfsdruk waterzijdig, zonder hydromodule	kPa	1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000						
Max. bedrijfsdruk waterzijdig, met hydromodule	kPa	400 400 400 400 400 400 400						
Ventilator								
Aantal		Axiaal Flying Bird IV met meedraaiende geleidering 1 1 1 1 1 2 2						
Totale luchthoeveelheid (hoog toerental)	l/s	3770 3748 3736 4035 4036 7479 8072						
Max. toerental, standaard unit	r/s	12 12 12 12 12 12 12						
Max. toerental, unit met optie 11	r/s	- 16 16 16 16 16 16						
Koeler								
Gebilde koperen pijpen met aluminium lamellen								
Hydromodule (optie 116)								
Pomp met variabel toerental		Pomp, Victaulic gaasfilter, veerveiligheden, ontluichtings-afsluiters (water + lucht), onderdrukbeveiliging						
Wateraansluitingen met/zonder hydromodule								
Aansluitingen†	inch	Victaulic 1-1/4 1-1/4 1-1/2 1-1/2 1-1/2 2 2						
Leidingdiameter uitwendig	mm	42,4 42,4 48,3 48,3 48,3 60,3 60,3						
Lakkleur chassis								
Kleurcode: RAL7035								

* Capaciteiten gecertificeerd door Eurovent in overeenstemming met EN14511-3:2013.

H1 Conditie 1: condities verwarming - gekoeldwater intrade/uitredetemperatuur 40 °C/45 °C, buitenluchttemperatuur 7 °C db/6 °C nb

H2 Conditie 2: condities verwarming - gekoeldwater intrade/uitredetemperatuur 30 °C/35 °C, buitenluchttemperatuur 7 °C db/6 °C nb

H3 Conditie 3: condities verwarming - gekoeldwater intrade/uitredetemperatuur 47 °C/55 °C, buitenluchttemperatuur 7 °C db/6 °C nb

** Bruto prestaties, niet in overeenstemming met EN14511-3:2013. Deze prestaties houden geen rekening met de correctie voor de proportionele verwarmingscapaciteit en vermogen gegenereerd door de waterpomp om de inwendige weerstand in de warmtewisselaar te overwinnen.

*** De gegeven gewichten zijn bedoeld als richtlijn. Zie voor de koudemiddelvulling van de unit de machine kenplaat.

**** In dB rel-10⁻¹ W, (A) weging. Opgegeven geluidsemissiewaarden zijn in overeenstemming met ISO 4871 (met bijhorende tolerantie van +/-2dB(A)). Gemeten volgens ISO 9614-1 en gecertificeerd door Eurovent.

***** In dB rel 20 Pa, (A) weging. Opgegeven geluidsemissiewaarden zijn in overeenstemming met ISO 4871 (met bijhorende tolerantie van +/-2dB(A)). Ter informatie, berekend op basis van het geluidvermogen Lw(A).

† Bij de 61AF 022 en 61AF 030 worden standaard 2 aansluitpijpen meegeleverd 1-1/4" Victaulic naar 1-1/4" schroefdraad.

Daikin Altherma R ECH₂O - Technische specificaties

Buitenunit				ERLQ011CV3	ERLQ014CV3	ERLQ016CV3
Binnenunit				EH5H/EH5X/ EH5HB/EH5XB		
Randemingsgegevens				16P50B		
Verwarming	Seizoensrendement			%	125	126
	Energie label				A++	
Sanitair warm water	Belastingsprofiel				XL	
	Rendement			%	83	
Energie label					A	
Nominale verwarmingscapaciteiten						
Vertrekwatertemperatuur 35°C	Verwarmingscapaciteit bij buitentemperatuur 7°C			kW	11,38	14,55
	Opgenomen vermogen bij buitentemperatuur 7°C			kW	2,64	3,43
	COP bij +7/35°C				4,31	4,24
	Verwarmingscapaciteit bij buitentemperatuur -7°C			kW	8,81	11,65
	Opgenomen vermogen bij buitentemperatuur -7°C			kW	3,52	4,95
	COP bij -7/35°C				2,50	2,35
Vertrekwatertemperatuur 45°C	Verwarmingscapaciteit bij buitentemperatuur 7°C			kW	11,00	13,59
	Opgenomen vermogen bij buitentemperatuur 7°C			kW	3,25	4,22
	COP bij +7/45°C				3,38	3,22
	Verwarmingscapaciteit bij buitentemperatuur -7°C			kW	8,16	10,96
	Opgenomen vermogen bij buitentemperatuur -7°C			kW	4,14	5,66
	COP bij -7/45°C				1,97	1,94
Vertrekwatertemperatuur 55°C	Verwarmingscapaciteit bij buitentemperatuur 7°C			kW	9,99	12,73
	Opgenomen vermogen bij buitentemperatuur 7°C			kW	4,02	5,14
	COP bij +7/55°C				2,49	2,48
	Verwarmingscapaciteit bij buitentemperatuur -7°C			kW	7,10	8,73
	Opgenomen vermogen bij buitentemperatuur -7°C			kW	4,77	5,68
	COP bij -7/55°C				1,49	1,54
Nominale koelcapaciteiten (enkel met binnenunit EH5X/EH5XB)						
Vertrekwatertemperatuur 18°C	Koelcapaciteit bij buitentemperatuur 35°C			kW	15,05	16,06
	Opgenomen vermogen bij buitentemperatuur 35°C			kW	4,53	5,42
	EER bij 35/18°C				3,32	2,96
Vertrekwatertemperatuur 7°C	Koelcapaciteit bij buitentemperatuur 35°C			kW	11,73	12,55
	Opgenomen vermogen bij buitentemperatuur 35°C			kW	4,31	5,09
	EER bij 35/7°C				2,72	2,47
Buitenunit				ERLQ011CV3	ERLQ014CV3	ERLQ016CV3
Koeltechnische kenmerken	Compressor	type		Hermetisch gesloten scrollcompressor		
	Koelmiddel	type		R-410A		
		GWP		2.087,5		
		Vulling		kg		
	Leidingdiameters (vloeistof/gas)		Inch		3/8 - 5/8	
Werkbereik	Buitentemperatuur	Verwarmen		°C		-25 ~ 35°C
		Koelen (enkel met EH5X binnenunit)		°C		10 ~ 46°C
		Sanitair warm water		°C		-20 ~ 35°C
Algemene kenmerken	Afmetingen		H x B x D		mm	
	Gewicht				kg	
Geluidskanmerken	Geluidsvermogensniveau	Verwarmen	Nom.	dB(A)	64	66
		Koelen	Nom.	dB(A)	64	66
	Geluidsdruk niveau op 1 m	Verwarmen	Nom.	dB(A)	51	52
		Koelen	Nom.	dB(A)	50	52
Elektrische aansluiting	Voedingsspanning			ph/Hz/V	1~/50/230+N	
	Aanbevolen zekering			A	32	
Binnenunit				EH5H/EH5X/ EH5HB/EH5XB	16P50B	
Behuizing	Kleur			Verkeerswit (RAL9016) / Donkergrjls (RAL7011)		
	Materiaal vat			Slagvast PolyPropyleen		
Algemene kenmerken	Afmetingen		H x B x D		mm	
	Gewicht				kg	
Tank kenmerken	Watervolume				l	
	Maximum water temperatuur				°C	
Werkbereik	Watertemperatuur	Verwarmen, min. - max.		°C		15 - 55
		Sanitair warm water, max.		°C		25 - 55
Geluidskanmerken	Geluidsvermogensniveau		Nom.		dB(A)	
	Geluidsdruk niveau op 1 m		Nom.		dB(A)	
Elektrische aansluiting	Voedingsspanning binnenunit			ph/Hz/V	1~/50/230+N	
Hydraulische aansluitingen	Verwarming			Inch	1 inch	
	Sanitair			Inch	1 inch	

