



CONSULTANCY
ENGINEERING
COMMISSIONING

NOTA
DOSSIER 19066.001
NUMMER 003

HAALBAARHEIDSONDERZOEK ALTERNATIEVE ENERGIE

Project

19066.001 Voorpost DELTA

Ligging

1050 Elsene/Ixelles, Triomflaan 155

Bouwheer

Beliris

De uitvoerder,

Jasper Meynen
Projectingenieur

Koen Van Canneyt
Projectverantwoordelijke

De bouwheer,

Nicolas Lambrette
Chef de project

FOD M&V / Beliris

Ingenium nv
Nieuwe Sint-Annadreef 23
8200 Brugge
+32(0)50 40 45 30 T
info@ingenium.be E
www.ingenium.be W

v1	2020-04-09	JME
v2	2020-05-06	JME
v3	2020-07-08	JME

Basis
Opmerkingen bouwheer
Aanpassing koelvraag

INHOUD

INHOUD	2
1 MANAGEMENT SUMMARY	3
2 INLEIDING	5
2.1 Wettelijk kader	5
2.2 Projectomschrijving	5
2.3 Te onderzoeken technieken	6
2.4 Energieprijzen en emissiefactoren	6
3 TE ONDERZOEKEN TECHNIEKEN	8
3.1 Stadsverwarming of –koeling	8
3.2 Warmtekrachtkoppeling	8
3.3 Warmtepomp (Niet verplicht)	8
3.4 Fotovoltaïsche zonnepanelen	9
4 HAALBAARHEIDSONDERZOEK	10
4.1 Resultaten	10

1 MANAGEMENT SUMMARY

In het kader van het Energiebesluit van 19 november 2010, worden in deze nota verschillende hernieuwbare energietechnieken voorgesteld en onderzocht op vlak van haalbaarheid. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de resultaten.

	Investerings- kost excl.premies	Investerings- kost incl.premies	(Meer-) inv.kost incl.premies	Onderhoud skost	Besparing (onderhoud inbegrepen)	Terugverdien tijd	CO ₂ -reductie	Investing / CO ₂ - reductie
	€	€	€	€/jaar	€/jaar	jaar	kg/jaar	€ / kg CO ₂
WKK-installatie	80.100	80.100	77.000	1.900	10.300	9	6.400	12,0
Lucht/water warmtepomp	19.600	14.700	100	600	-2.500	>20	33.500	0,003
Grond/water warmtepomp BEO-veld (verwarmen+koelen)	211.000	158.250	143.650	1.650	-650	>20	37.100	3,9
PV-installatie	25.200	25.200	25.200	400	5.800	5	9.200	2,7

Tabel 1 Overzicht resultaten haalbaarheidsonderzoek

Het overzicht toont aan dat technieken als de lucht/water warmtepomp en het BEO-veld met grond/water warmtepomp met de huidige prijszetting van gas en elektriciteit geen economische terugverdientijd kennen. Het duurzaamheidsaspect mag hierbij uiteraard niet vergeten worden waar deze opties zeer goed op scoren. Deze technieken laten toe op een CO₂-neutrale wijze warmte te produceren. De laatste kolom toont de investering per vermeden kg CO₂, een maatstaf voor de duurzaamheid van de investering.

Op basis van bovenstaande terugverdientijden, investeringskosten en het aspect duurzaamheid wordt geadviseerd volgende technieken toe te passen, in volgorde van voorkeur:

1. PV-installatie. De techniek is het meest rendabel. Het dak dient echter ontworpen te worden zodat het gewicht van de panelen en de draagconstructie kan dragen. Om de voorspelde rendabiliteit te halen, moet de geproduceerde elektriciteit maximaal op de site zelf aangewend worden.
2. WKK-installatie. De implementatie van een WKK is financieel gunstig doordat zowel warmte als elektriciteit geproduceerd wordt. Net als bij PV moet er bij ontwerp over gewaakt worden dat een maximale hoeveelheid van de geproduceerde elektriciteit op de site zelf gebruikt wordt. Een WKK ligt dus in de schaal met een PV-installatie daar hun rendement sterk gebonden is aan de mogelijkheid om basislast elektriciteit te produceren. Deze techniek is minder duurzaam (verbrandig fossiel aardgas) in vergelijking met de andere technieken in deze studie, wat zicht vertaalt naar de hoogste investeringskost per bespaarde kg CO₂. Op basis hiervan en de lagere terugverdientijd verkiezen we een PV-installatie boven een WKK.
3. Warmtepomp lucht/water: Deze installatie combineert een zeer beperkte (meer)investeringskost met een goede duurzaamheidscore. Er moeten lage temperatuur afgifte-systemen voorzien worden, zoals vloerverwarming, om de warmte nuttig te kunnen afgeven. Daarnaast is een gasketel noodzakelijk als back-up. De warmtepomp dient echter, wellicht, te worden behouden om aan de EPB eisen te voldoen. Daarnaast kan ze ook ingezet worden voor koeling via reversibele werkingscyclus wanneer er koelvraag is ipv warmtevraag. De warmtepomp geeft het gebouw ook een 'groen' karakter.
4. Warmtepomp bodem/water. Deze installatie laat eveneens toe om (een deel van) de verwarmings- en de volledige koelbehoefte op te vangen maar aan een beter rendement dan de lucht/water warmtepomp. Hoewel via warmtewisselaar passieve koeling zeer goedkoop is, is de koudevraag echter zeer laag. Door de hoge investeringskost en zonder terugverdienmodel is deze oplossing niet te verkiezen.

Bovenstaande systemen kunnen ook (gedeeltelijk) gecombineerd worden, mits de dimensionering op elkaar afgestemd is.

1.1 CONCLUSIE

De meest gunstige uitkomst die rekening houdt met de reële randvoorwaarden, zoals bv. beschikbare ruimte enerzijds, en de parameters besproken in deze studie (rendabiliteit, investeringskost, compatibiliteit en duurzaamheid) anderzijds, is volgende combinatie:

- optie 1: PV-installatie
- optie 3: Warmtepomp L/W

2 INLEIDING

2.1 WETTELIJK KADER

In het Vademecum reglementering EPB werkzaamheden (juli 2017) van Brussel leefmilieu zijn de bepalingen voor de invoering van het haalbaarheidsonderzoek voor alternatieve energiesystemen opgenomen. Er wordt voor vanaf 2015 een verplicht haalbaarheidsonderzoek voor nieuwe gebouwen gevraagd, ongeacht de vloeroppervlakte. Een geïntegreerde haalbaarheidsstudie is pas een vereiste één of meerdere nieuwe EPB-eenheden die samen een vloeroppervlakte van meer dan 10.000m² hebben, wat hier niet het geval is.

In het Ministerieel Besluit van 11 januari 2008 werd vastgelegd welke technieken in het haalbaarheidsonderzoek te onderzoeken zijn, afhankelijk van de functie en de grootte van het gebouw. Het Ministerieel Besluit legt ook het webformulier vast waarmee de resultaten van de haalbaarheidsonderzoek moeten gerapporteerd worden. De economische hypothesen en parameters, de conversiefactoren voor de CO₂-emissie en de klimatologische gegevens zijn opgenomen in een ministerieel besluit van 24 juli 2008.

De bedoeling is vooral de bouwheer te informeren over de mogelijke technieken, de subsidies en de haalbaarheid van de verschillende alternatieve energiesystemen. Het is in het belang van de bouwheer om het onderzoek al tijdens de voorontwerpfase uit te voeren, zodat alle resultaten in het definitieve ontwerp integreerbaar zijn.

Het haalbaarheidsonderzoek is van toepassing voor gebouwen die voldoen aan volgende kenmerken:

- Het gebouw betreft één of meerdere nieuwe EPB-eenheden;
- De stedenbouwkundige vergunning werd aangevraagd na 31 januari 2008;
- Het gebouw of de betreffende delen wordt verwarmd om ten behoeve van mensen een specifieke binnentemperatuur te bekomen (dus bijvoorbeeld geen parkings).

2.2 PROJECTOMSCHRIJVING

Het project betreft een nieuwbouw brandweerkazerne te Elsene. Het hoofdgebouw (brandweerkazerne) bevat kantoren en een vergaderzaal, slaap- en leefruimtes, sportruimtes, lockerruimtes, sanitaire kernen, een garage voor 4 ambulances en een gecontamineerde zone waar de brandweerlui toekomen na de opdracht. Aansluitend en binnen het beschermde volume, ligt de garage van de brandweervoertuigen (garage SI).

gebouw	type	hoofdfunctie	vloeroppervlakte
			m ²
A	Brandweerkazerne	Kantoor	1811
B	Garage	Garage	333

Tabel 2 Overzicht bebouwing site

In huidige projectfase is de exacte warmte- en elektriciteitsbehoefte niet gekend. In dit haalbaarheidsonderzoek maken we een inschatting op basis van type gebouw.

Gebouw A	piekvraag	jaarverbruik
	kW	MWh
Warmtevraag	156	350
Ruimteverwarming	127	245
Sanitair warm water	29	105
Koudevraag	6	4,4
Elektriciteitsvraag	124	145

Tabel 3 Overzicht verbruiksgegevens elektriciteit en warmte

De warmtebehoefte omvat zowel ruimteverwarming, opwarming van sanitair warm water als de opwarming van ventilatielucht. De grootverbruikers qua elektriciteit zijn ventilatie, oplaadpunten, industriële wasmachines en *drying cabinets* voor de brandweerpakken.

2.3 TE ONDERZOEKEN TECHNIEKEN

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de te onderzoeken technieken in functie van gebouwbestemming en bruikbare vloeroppervlakte, zoals beschreven in het Ministerieel Besluit.

Het te onderzoeken gebouw sluit het best aan bij hoofdbestemming kantoor.

Hoofdbestemming	Bruikbare Vloeroppervlakte in m ²	Stadsverwarming of -koeling	Warmtekrachtkoppeling	Warmtepomp voor verwarming	Bio-massa-ketel	Zonneboiler of warmtepompboiler	Fotovoltaïsche zonnepanelen
Wonen	< 5000	x	x			x	x
	≥ 5000	x	x	x	x	x	x
Kantoor	< 5000	x	x				x
	≥ 5000	x	x	x	x		x
Onderwijs	< 5000	x	x				x
	≥ 5000	x	x	x	x		x
Industrie	< 5000	x	x				x
	≥ 5000	x	x	x	x		x
Gezondheidszorg	Nvt	x	x	x	x	x	x
Sport	Nvt	x	x	x	x	x	x
Handel	< 3000	x	x				x
	≥ 3000	x	x	x	x		x
Bijeenkomstgebouw	< 3000	x	x				x
	≥ 3000	x	x	x	x		x
Horeca	Met verblijf	x	x	x	x	x	x
	Zonder verblijf en < 3000	x	x			x	x
	Zonder verblijf en ≥ 3000	x	x	x	x	x	x

Tabel 4 Overzicht te onderzoeken technieken

2.4 ENERGIEPRIJZEN, EMISSIEFACTOREN EN PREMIES

In dit haalbaarheidsonderzoek worden onderstaande energieprijzen en emissiefactoren gehanteerd. De energieprijzen zijn uitgedrukt exclusief BTW en gebaseerd op de energiefactuur van gebouwen met een gelijkaardig energieverbruik. De emissiefactoren zijn conform het Energiebesluit.

omschrijving	eenheidsprijs	emissiefactor
	EUR/MWh (excl. BTW)	kg/MWh
Elektriciteit afname	200	395
Aardgas	40	217

Tabel 5 Energieprijzen

Per 217kg CO₂ bespaard ontvangt de uitbater van de installatie een groenestroomcertificaat. De hoeveelheid die moet bespaard worden en de termijn van een certificaat is afhankelijk van de techniek en de grootteorde van de installatie. De vermenigvuldigingscoëfficiënten worden bepaald door Brussel leefmilieu (<http://www.leefmilieu.brussels/themas/energie/groene-energie/groenestroom-certificaten>).

De waarde van het certificaat gebeurt door de marktprijs. In huidige berekening wordt uitgegaan van € 94 per groenestroomcertificaat, de gemiddelde prijs van een groenestroomcertificaat van de voorbije twee jaargangen (2018 - 2019). De gewaarborgde minimumprijs bedraagt 65 €/MWh.

- Voor fotovoltaïsche zonnepanelen (PV): levert 1.000 kWh geproduceerde elektriciteit X * 1,8 groenestroomcertificaten op, gedurende een periode van 10 jaar. Dit komt overeen met 2,1 GSC/MWh opgewekte energie.
- Voor warmtekrachtkoppeling (WKK), levert elke 1.000 kWh primaire energiebesparing ten opzichte van de klassieke opwekking van energie, eveneens Y * 1 warmtekrachtcertificaten op, gedurende een periode van 10 jaar.

De factor "X" is de zogenaamde "bandingsfactor". Een overzicht is terug te vinden op de website van de Brugel. De factor "Y" is de bespaarde hoeveelheid CO₂ in verhouding met 217kg CO₂ en is een functie van het rendement van de WKK.

omschrijving	eenheidsprijs
	EUR/st (excl. BTW)
groenestroomcertificaten	94

Tabel 6 Certificaatprijzen

Naast de groenestroomcertificaten voor de WKK en de PV-installatie is er voor het plaatsen van een warmtepomp ook premie beschikbaar via Brussel leefmilieu. Voor warmtepompen in dienstengebouwen kan 25% van de in aanmerking komende factuurkosten voor de warmtepomp als premie verkregen worden. De voorwaarden waaraan moet worden voldaan zijn terug te vinden op: https://environnement.brussels/sites/default/files/primes-premies/GIDS_C4_NL_2020.pdf.

De voornaamste eisen die aandacht vragen zijn het energielabel A+ en het plaatsen van een energiemeter op het vertrek naar de warmtepomp.

3 TE ONDERZOEKEN TECHNIEKEN

3.1 STADSVERVERMING OF –KOELING

Stadsverwarming of -koeling dient enkel onderzocht te worden als de site gevestigd is binnen de zones waar dit beschikbaar is. Voor Brussel is een zonekaart niet beschikbaar. Bij navraag aan Brussel leefmilieu bleek er geen stadsnet bekend in de nabije omgeving waar het gebouw wordt opgetrokken. Er is geen stadsverwarming of –koeling beschikbaar in de buurt van de site, bijgevolg wordt deze techniek niet verder onderzocht.

3.2 WARMTEKRACHTKOPPELING

Een warmtekrachtkoppeling (WKK) is een installatie die tegelijkertijd warmte en elektriciteit produceert. De elektriciteit wordt opgewerkt door middel van een verbrandingsmotor die een elektrische generator aandrijft.

Er bestaan WKK's uitgerust voor de verbranding van gas, stookolie, biogas of koolzaadolie. In deze studie onderzoeken we een WKK met een gasmotor. De levensduur van een dergelijke WKK-installatie bedraagt ongeveer 15 jaar. Vaak wordt een buffer voorzien om het pendelen van de installatie te voorkomen.

De WKK vangt de basis-warmtevraag op, terwijl de piek-warmtevraag ingevuld wordt door gasketels. De WKK levert eveneens de basis-elektriciteitsvraag. De piek wordt opgevangen door het net. Als er ogenblikkelijk meer elektriciteit geproduceerd wordt dan er nodig is, wordt het overschot terug naar het net geïnjecteerd. Voor de aldus verkochte elektriciteit wordt een lagere prijs verkregen dan de elektriciteitsprijs bij aankoop.

3.3 WARMTEPOMP (NIET VERPLICHT)

Een warmtepomp onttrekt warmte uit de omgeving en geeft ze af aan de verwarmingsinstallatie. De warmteafgifte bij een warmtepomp gebeurt bij voorkeur door een lagetemperatuur-afgiftesysteem zoals vloerverwarming.

In deze studie onderzoeken we eerst een lucht/water warmtepomp die de buitenlucht als warmtebron gebruikt. Bij lage buitentemperaturen hebben lucht/water warmtepompen een laag rendement. Daarom laten we in deze studie bij temperaturen lager dan 4°C enkel de ketels werken. Hierdoor is er geen daling van het te installeren ketelvermogen en kan er ook geen vermeden investeringskost ingerekend worden. De levensduur van een dergelijke warmtepomp bedraagt ongeveer 15 jaar.

Alternatief kan een bodem/water warmtepomp met verticale grondwarmtewisselaar (boorgat-energie-opslag of BEO-veld) worden toegepast. Een BEO-veld bestaat uit een gesloten watercircuit in verticale buizen in de grond. In dit circuit wordt warmte uitgewisseld met de bodem. In de winter wordt er warmte uit de bodem onttrokken terwijl tijdens de zomer warmte in de bodem wordt gestockeerd. De installatie wordt zo gedimensioneerd dat er 's zomers evenveel warmte in de bodem opgeslagen wordt als dat er 's winters uit de bodem gehaald wordt. Het koelen tijdens de zomer gebeurt niet door de warmtepomp zelf, maar door passieve koeling via een warmtewisselaar. De koude kan afgegeven worden via het systeem van vloerverwarming of via de ventilatielucht indien een systeem type D toegepast wordt.

Met behulp van de Databank Ondergrond Vlaanderen kan het dieptecriterium bepaald worden. Tot die diepte is enkel een meldingsplicht nodig om te boren. Om dieper te boren, moet een vergunning aangevraagd worden. Indien gekozen wordt voor een BEO-veld is het sterk aangeraden om eerst een proefboring op de locatie te laten uitvoeren. Dit enerzijds om het onttrekkingsvermogen en anderzijds de weerstand tijdens het boren correct in te schatten. Deze factoren hebben immers een sterk invloed op de rendabiliteit van het systeem en kan per locatie sterk verschillen.

3.4 FOTOVOLTAÏSCHE ZONNEPANELEN

In een fotovoltaïsch (PV) zonne-energiesysteem zetten zonnecellen het opgevangen licht om in elektrische energie onder de vorm van gelijkstroom. Een omvormer vormt de gelijkstroom om naar wisselstroom. Er bestaan verschillende types zonnecellen, waarvan volgende 2 de meest voorkomende zijn:

- Kristallijne silicium zonnecellen;
- Amorfe silicium zonnecellen verwerkt in EPDM-dakmembranen (waterdichtende laag).

De markt wordt meer en meer overheerst door mono- en polykristallijne panelen. Het marktaandeel van de dunnefilmpanelen (amorf) is sterk afgenomen. Hier zijn tal van redenen voor:

- Hogere investeringskost;
- Lager rendement;
- Minder efficiënte plaatsinname;
- Beperkt aanbod.

Als gevolg van het lagere rendement, moeten er meer panelen geplaatst worden om hetzelfde vermogen te genereren. Bijgevolg is de benodigde oppervlakte en de montagekost groter. De levensduur van de panelen bedraagt ongeveer 25 à 30 jaar, de omvormer gaat ongeveer 15 à 20 jaar mee.

Theoretisch is de zonne-instraling maximaal voor een zonnepaneel dat naar het zuiden gericht is onder een hellingsgraad van 35°. Praktisch verkiest men echter een kleinere hellingsgraad. Dit omwille van twee redenen.

- Meer efficiënte plaatsinname: Er kunnen meer panelen en dus een groter vermogen op eenzelfde oppervlak geplaatst worden. Door de panelen onder een hoek te plaatsen, ontstaat immers schaduwvorming, waardoor de panelen voldoende uit elkaar geplaatst moeten worden.
- Minder windbelasting.

De draagconstructies moet voorzien worden van ballast of worden aan elkaar vastgemaakt. De draagkracht van het dak moet hierop voorzien worden. Opdat de panelen elkaar niet beschaduen moeten ze voldoende ver van elkaar geplaatst worden.

Als er ogenblikkelijk meer elektriciteit geproduceerd wordt dan er nodig is, wordt het overschot terug naar het net geïnjecteerd. Voor de aldus verkochte elektriciteit wordt een lagere prijs verkregen dan de elektriciteitsprijs bij aankoop.

De gebouweigenaar kan optreden als uitbater van de installatie, maar kan ook een leasing-formule aangaan met een derde partij investeerder (leasinggever). In dit laatste geval staat de leasinggever in voor de aankoop, het ontwerp en het onderhoud van de volledige installatie, terwijl de groene stroomcertificaten en de geproduceerde elektriciteit ten gunste zijn van de gebouweigenaar (leasingnemer). In ruil betaalt de leasingnemer op periodieke wijze een bedrag aan de leasinggever evenredig met de energetische opbrengst van de installatie. Deze formule is vooral aantrekkelijk wanneer de gebouweigenaar over onvoldoende budget beschikt om de initiële investering aan te gaan.

4 HAALBAARHEIDSONDERZOEK

4.1 RESULTATEN

4.1.1 WARMTEKRACHTKOPPELING

Algemeen

Een warmtekrachtkoppeling (WKK) is een installatie die tegelijkertijd warmte en elektriciteit produceert. De elektriciteit wordt geproduceerd door middel van een verbrandingsmotor met generator. De installatie kan werken op olie, gas of op hernieuwbare energie (biogas, koolzaadolie).

De levensduur van een WKK-installatie bedraagt ca. 15 jaar.

Concept

We stellen een WKK met een gasmotor voor.

Tabel 7 Overzicht Warmtekrachtkoppeling geeft onze beste inschatting van een optimale WKK. Bij ontwerp dient de selectie verder onderzocht te worden.

Bij de WKK wordt een buffer geplaatst om het pendelen van de installatie te mijden. De WKK vangt de basis-warmtevraag op. Piekwarmtevraag, het meervermogen, wordt ingevuld met condensatiegasketels.

De WKK levert eveneens de basis-elektriciteitsvraag. Piek-elektriciteitsvraag wordt afgenomen uit het elektriciteitsnet. Bij de vooropgestelde installatie kan volgens eerste inschatting volgens energieprofiel 75% van de geproduceerde elektriciteit door de WKK op het moment van opwekking in het gebouw verbruikt worden. In een detailstudie moet de integratie van de WKK verder bekeken worden. Een overschot aan elektriciteit moet worden verkocht. Voor de verkochte elektriciteit wordt meestal een lagere prijs verkregen dan de elektriciteitsprijs die moet betaald worden voor aankoop van elektriciteit via het net, waardoor de installatie minder rendabel wordt. Momenteel is gerekend met een verkoopprijs van 30 €/MWh (ten op zicht van 200 €/MWh). Deze installatie is gedimensioneerd om de basislast te dekken en de hoeveelheid door te verkopen elektriciteit is bijgevolg minimaal.

Rendabiliteit

In het Brussels Hoofdstedelijk Gewest wordt de productie van groene stroom afkomstig van hernieuwbare energiebronnen of warmtekrachtkoppeling ondersteund door de toekenning van groenestroomcertificaten (GSC). Deze worden toegekend op basis van de CO₂-besparing die wordt gerealiseerd door de installatie, in het geval van de WKK worden 0,57 GSC per MWh toegekend.

Voor de integratie van een WKK zijn momenteel geen premies/subsidies beschikbaar in Brussel.

De initiële investeringskost omvat:

- WKK
- Elektrische integratie
- Hydraulische integratie

In onderstaande Tabel 7 Overzicht Warmtekrachtkoppeling worden de belangrijkste parameters en rendabiliteit van de betreffende WKK-installatie weergegeven.

Tabel 7 Overzicht Warmtekrachtkoppeling

Warmtekrachtkoppeling	
Elektrisch vermogen	21 kW _{el}
Thermisch vermogen	41 kW _{th}

Elektrisch rendement	30%
Thermisch rendement	59%
Jaarproductie elektriciteit	76 MWh
Jaarproductie warmte	151 MWh
Investeringskost (excl. premies)	80.100 €
Premies	0 €
Investeringskost (incl. premies)	80.100 €
Meer-investeringskost	77.000 €
Onderhoudskost (gemiddelde per jaar)	1.900 €/jaar
Gemiddelde opbrengst certificaten (eerste 10 jaar)	4.800 €/jaar
Besparing op exploitatiekost (incl. certificaten en onderhoud)	10.300 €/jaar
Terugverdientijd	9 Jaar
Vermeden CO2-uitstoot	6.400 kg/jaar

4.1.2 WARMTEPOMP LUCHT/WATER

Algemeen

Bij toepassing van een warmtepomp wordt warmte uit de omgeving onttrokken en aan de verwarmingsinstallatie afgegeven. De warmteafgifte van de warmtepomp gebeurt aan een lage temperatuursregime wat gunstig is voor het rendement. De warmtepompcyclus kan ook worden omgekeerd waardoor er warmte naar de omgeving wordt afgegeven om aan gebouwszijde ijswater te produceren.

Levensduur warmtepomp: ca. 20 jaar

Concept

Er is relatief weinig koelbehoefte waardoor een grond/water of water/water warmtepomp minder geschikt is voor dit project. Voor dit project wordt een lucht/water warmtepomp voorgesteld. De warmtepomp wordt ingezet voor ruimteverwarming en verwarming luchtgroepen. In de zomermaanden wanneer er geen warmtevraag is zal de warmtepompcyclus omgekeerd werken als een koelmachine om aan de koellasten van het gebouw tegemoet te komen. De volledige koelvraag wordt gedekt door de warmtepomp, namelijk:

- Topkoeling luchtbehandelingsgroep, 11.000m³/h van 32°C 50% R.V. naar 27°C
 - Nakoelbatterijen 2.375m³/h van 27°C naar 19°C
 - Koeling van de niveau +2 (kantoren, leefruimtes, slaapkamers) met vloerkoeling (50 W/m²)
- TOTAAL: 63kW piek – 14MWh

De basislast van de warmtevraag zal worden afgedekt door een lucht/water warmtepomp, te plaatsen op het dak. Een dergelijke warmtepomp gebruikt de buitenlucht als warmtebron.

Om de warmtepomp zo efficiënt mogelijk te gebruiken wordt deze gedimensioneerd op de 30-40% van de basislast (kW) in verwarming zodat de warmtepomp een hoog aantal vollasturen kent. Echter de bepalende factor is hier koeling. De piek koelvraag (kW) is groter dan de optimale grootte van de warmtepomp zoals berekend vanuit de warmtevraag. De globale koelvraag (MWh) is daarentegen nog veel kleiner dan de warmtevraag. In koeling zal de warmtepomp dus een zeer beperkt aantal equivalente vollasturen kennen maar wordt wel de investeringskost van een bijkomende koelmachine vermeden. De warmtepomp staat dus in voor 100% van de jaarlijkse totale koelvraag van het gebouw. Omdat de warmtepomp een minimale trap kent is een buffer noodzakelijk om pendelen tegen te gaan.

Het vermogen van de warmtepomp bedraagt 60% van de piekvraag ruimteverwarming (incl. ventilatie). Met dit vermogen wordt >90% van de jaarlijkse totale ruimtewarmtevraag geleverd door de warmtepomp. De warmtevraag zal slechts zeer zelden de piekvraag benaderen. De warmtepomp is regelbaar vanaf de minimale trap (+/-20%) waardoor slechts een beperkt buffervat zal gebruikt worden. Zo kan bij lage warmtevraag (onder het nominale vermogen) van de warmtepomp deze toch aangewend worden, zodoende om deze optimaal te benutten.

De piekvragen buiten de basislast zullen worden opgevangen door een condenserende gasketel met hoog rendement die de resterende 10% van de ruimtewarmtevraag zal leveren. Deze ketel wordt ook ingezet voor de bereiding van sanitair warm water. De ketel zal gedimensioneerd worden op een aanzienlijk vermogen maar zal veelal aan lage belasting werken.

- Lucht/water warmtepomp – 68,5kW
 - 225 MWh (90% van de totale jaarlijkse ruimtewarmtevraag)
 - COP: 3,9 – SCOP: 3,2 (Elektrisch vermogen: 21,3kW)
 - Regime 45/35°C
- Condenserende gasketel – 80kW
 - 20 MWh (10% van de totale jaarlijkse ruimtewarmtevraag)
 - Min. ketelrendement COW: 90%
 - Ook gebruikt voor aanmaak SWW: 110 MWh

De ruimtes zullen in basis verwarmd worden met radiatoren en vloerverwarming op het lage temperatuurregime 45/35°C aangevuld met geconditioneerde ventilatielucht. Koeling gebeurt via de ventilatielucht (basiskoelregime 10/15°C) aangevuld met vloerkoeling op regime 16/20°C waar gewenst.

Rendabiliteit

Bij het Brussels hoofdstedelijk gewest is een premie beschikbaar voor lucht/water warmtepompen, deze premie bedraagt 25 % van de in aanmerking komende kosten van de factuur.

Tabel 8 Overzicht warmtepomp L/W

Warmtepomp lucht/water	
Elektrisch vermogen	21 kW _{el}
Thermisch vermogen verwarming	68,5 kW _{th}
Thermisch vermogen koeling	63 kW _{th}
Jaarproductie warmte	225 MWh
Jaarproductie koeling	14 MWh
Investeringskost (excl. premies)	19.600 €
Premies	4.900 €
Investeringskost (incl. premies)	14.700 €
Vermeden investeringskost	14.600 €
Meer-investeringskost tov gasketel+koelmachine	100 €
Energiekost (tov gasketel+koelmachine)	2.500 €/jaar
Onderhoudskost (tov gasketel+koelmachine)	0 €/jaar
Besparing	- €/jaar
Terugverdientijd	>20 Jaar
Vermeden CO ₂ -uitstoot	33.500 kg/jaar

De integratie van een lucht/water warmtepomp in dit project heeft een terugverdientijd van **meer dan 20 jaar**. De investeringskost is echter nagenoeg gelijk in vergelijking met de alternatieve combinatie van een condenserende gasketel en koelmachine. Wegens de hoge kostprijs van elektriciteit ten opzichte van gas heeft de warmtepomp een 'negatieve' terugverdientijd. Het zal dus veel duurzamer zijn, maar zowel in installatie als uitbating meer kosten. Er is uiteraard wel nog de maatschappelijke impact door de hoeveelheid vermeden CO₂-uitstoot.

4.1.3 WARMTEPOMP GROND/WATER (BEO-VELD)

Algemeen

Bij toepassing van een warmtepomp grond/water wordt warmte uit de bodem onttrokken via een BEO-veld (BoorEnergieOpslag) en aan de verwarmingsinstallatie afgegeven. De warmteafgifte van de warmtepomp gebeurt aan een lage temperatuursregime wat gunstig is voor het rendement. Het is ook mogelijk om te koelen (actief/passief, naargelang het regime).

Levensduur warmtepomp: ca. 20 jaar

Concept

Er is weinig koelbehoefte waardoor een grond/water of water/water warmtepomp minder geschikt is voor dit project. De bodem is hierdoor niet in evenwicht op jaarbasis waarmee moete rekening worden gehouden in het ontwerp.

Er wordt gerekend met zelfde vermogens voor de warmtepomp als in §4.1.2 Warmtepomp lucht/water.

Rendabiliteit

Bij het Brussels hoofdstedelijk gewest is een premie beschikbaar voor grond/water warmtepompen, deze premie bedraagt 25 % van de in aanmerking komende kosten van de factuur.

Tabel 9 Overzicht BEO + warmtepomp G/W

Warmtepomp grond/water	
Elektrisch vermogen	17 kW _{el}
Thermisch vermogen verwarming	68,5 kW _{th}
Thermisch vermogen koeling	63 kW _{th}
Aantal boormeters	1850 m
Jaarproductie warmte	225 MWh _{warmte}
Jaarproductie koude	14 MWh _{koude}
Investeringskost (excl. premies)	211.000 €
Premies	52.750 €
Investeringskost (incl. premies)	158.250 €
Vermeden investeringskost	14.600 €
Meer-investeringskost tov gasketel/koelmachine	143.650 €
Energiekost (tov gasketel+koelmachine)	-350 €/jaar
Onderhoudskost (tov gasketel+koelmachine)	1.000 €/jaar
Besparing	- €/jaar
Terugverdientijd	>20 Jaar
Vermeden CO ₂ -uitstoot	37.100 kg/jaar

De integratie van een grond/water warmtepomp met bijhorend BEO-veld in dit project heeft een terugverdientijd van **meer dan 20 jaar**. Ondanks de hoge kostprijs van elektriciteit ten opzichte van gas heeft de warmtepomp een besparing op energiekost maar deze wordt teniet gedaan door de hogere onderhoudskost van het BEO-veld, wat resulteert in een 'negatieve' terugverdientijd. Het zal dus veel duurzamer zijn, maar zowel in installatie als uitbating meer kosten. Er is uiteraard wel nog de maatschappelijke impact door de hoeveelheid vermeden CO₂-uitstoot.

4.1.4 FOTOVOLTAÏSCH ZONNEPANELEN

Algemeen

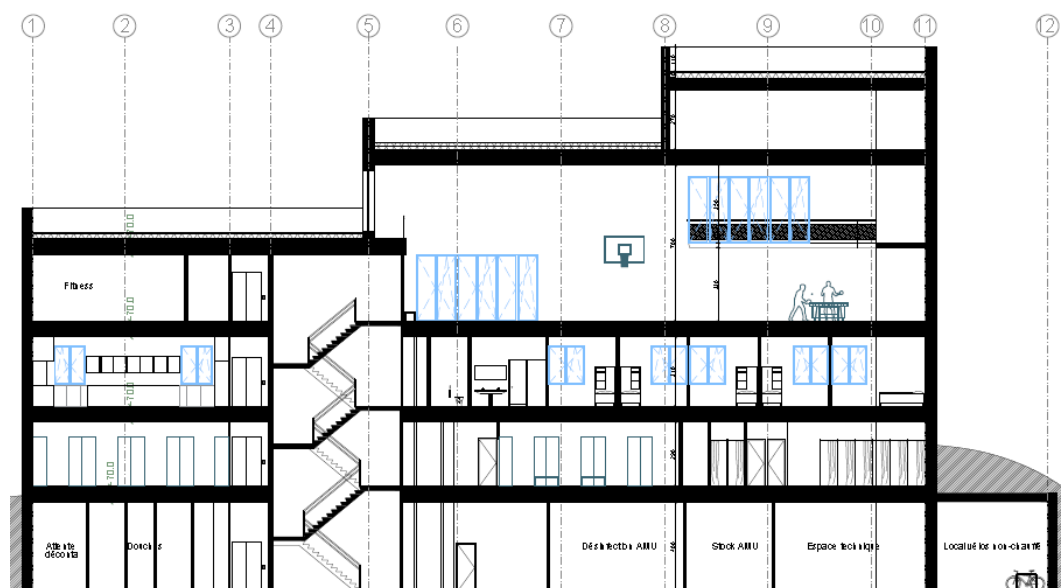
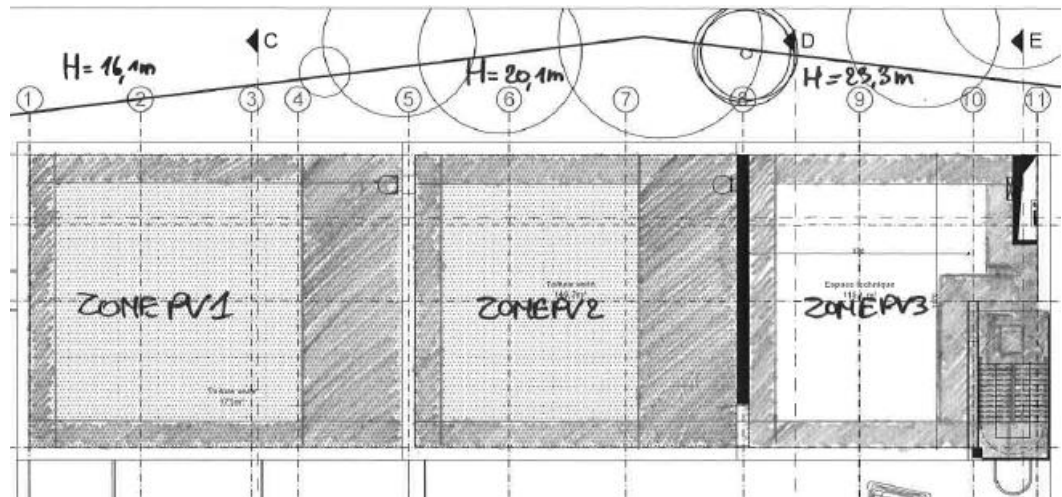
Bij fotovoltaïsche (PV) zonne-energiesystemen zetten zonnecellen het opgevangen licht rechtstreeks om in elektriciteit (gelijkstroom). Deze elektriciteit wordt met behulp van een omvormer omgezet naar bruikbare elektriciteit (wisselstroom).

Levensduur panelen: 25 à 30 jaar
 Levensduur omvormer: 15 à 20 jaar

Wanneer er schaduw valt op de zonnecellen leveren deze vanzelfsprekend geen energie op. Het is dus kwestie van de beschaduwing op de zonnecellen te beperken. Voor de beschaduwing van hoger gelegen daken werd een simulatie uitgevoerd in het programma PV-sol. Een verlies van 10% op paneelniveau door beschaduwing is een grenswaarde die als een evenwicht tussen opbrengst, efficiëntie en investeringskost is gehanteerd.

Er werden 3 scenario's met fotovoltaïsche installaties (afkorting FOTO) vergeleken, namelijk:

- Scenario FOTO 1: Dak vol PV (enkel randzone 1m en obstakels geen PV-panelen)
- Scenario FOTO 2: Dak vol PV – max. 10% beschaduwing (zone PV1+PV2+PV3 – niet grijze zones)
- Scenario FOTO 3: PV invertor <10kVA (zone PV3+PV2 – niet grijze zones)



Zones voor PV

Het plat dak van het hoofdgebouw kan gebruikt worden voor het plaatsen van een PV-installatie.. Het dak bestaat uit drie etages: zone PV1 (bruto 173m²), zone PV2 (bruto 150m²) en zone PV3 (bruto 115m², allen geschikt voor het plaatsen van PV panelen. Er wordt een randzone van 1m vrijgehouden tot elke dakrand voor passage van personen en beschaduwing van de dakrand.

Voor dit project stellen we voor om de beschikbare dakoppervlakte te voorzien van kristallijne zonnecellen. De panelen worden nagenoeg zuidgeoriënteerd opgesteld: Oriëntatie t.o.v. zuiden 12° (W=90° - Z=0° - O=-90°). Ze worden opgesteld onder een helling van 15°. De constructies moeten voorzien worden van ballast of kunnen aan elkaar vastgemaakt worden. De draagkracht van het dak moet hierop voorzien worden. De panelen moeten voldoende ver van elkaar geplaatst worden, zodat ze elkaar niet beschaduen.

Het wordt realistisch geacht dat in alle scenario's nagenoeg 100% van de opgewekte elektriciteit zelf verbruikt wordt. Er is dus idealiter geen overschot aan elektriciteit dat verkocht moet worden. Voor de verkochte elektriciteit wordt meestal een lagere prijs verkregen dan de elektriciteitsprijs die moet betaald worden voor aankoop van elektriciteit via het net, waardoor de installatie minder rendabel wordt.

Beschaduwing

Wanneer er schaduw valt op de zonnecellen leveren deze vanzelfsprekend geen energie meer. Het is dus kwestie van de beschaduwing op de zonnecellen te beperken. Voor de beschaduwing werd

een simulatie uitgevoerd in het programma PV-sol. Er wordt geen nadelige invloed ondervonden van naburige gebouwen, enkel van de hoger gelegen daken van gebouw. Een verlies van 10% op paneelniveau door beschaduwing is een soort grenswaarde die als een evenwicht tussen opbrengst, efficiëntie en investeringskost is gehanteerd.

	zone PV 1 [%]	# panelen	Zone PV 2 [%]	#panelen	Zone PV 3 [%]	# pane- len
Gem. beschaduwing – scenario FOTO 1	8,0	30	5,9	25	/	17
Gem. beschaduwing – scenario FOTO 2	4,0	20	3,7	20	/	17
Gem. beschaduwing – scenario FOTO 3	/	0	3,7	20	/	17

Bovenstaande tabel geeft de gemiddelde beschaduwingsfactoren voor de verschillende scenario's.

In de vermogensberekeningen werd volgend paneel als referentie gebruikt:

- Canadian Solar CS6U-335P ($\mu=17,3\%$) 1960mm x 992mm – 335Wp

Rendabiliteit

Er zijn geen premies beschikbaar voor het plaatsen van een PV-installatie. In het Brussels Hoofdstedelijk Gewest moet geen injectie-/prosumentarief betaald worden door de eigenaar van een PV-installatie. De compensatie van de netkosten voor kleine installaties verdwijnt eind 2020. Een bidirectionele teller wordt geïnstalleerd om eigen verbruik, afname en injectie te scheiden.

In het Brussels Hoofdstedelijk Gewest wordt de productie van groene stroom afkomstig van hernieuwbare energiebronnen ondersteund door de toekenning van groenestroomcertificaten (GSC). Deze worden toegekend op basis van de CO₂-besparing die wordt gerealiseerd door de installatie. Per 217kg CO₂ die wordt bespaard ontvangt de eigenaar van de installatie een groenestroomcertificaat. Echter wordt afhankelijk van de grootte van de installatie een vermenigvuldigingscoëfficiënt toegepast. Vanaf mei 2020 (4 maanden na publicatiedatum van beslissing in staatsblad) zal deze coëfficiënt de waarden aannemen in onderstaande tabel.

	Eenheid	Waarde					
Vermogenscategorie	kWp	≤ 6]6-12]]12-50]]50-100]]100-250]	> 250
Vermenigvuldigingscoëfficiënt							
Vermenigvuldigingscoëfficiënt	-	1,375	1,155	1,155	0,935	0,880	0,770
Toekenningsgraad	GSC/MWh	2,5	2,1	2,1	1,7	1,6	1,4

Vermenigvuldigingscoëfficiënten en toekenningsgraad vanaf mei 2020 (Bron: Brugel)

Bv. voor een installatie tussen 12-50kWp zal deze coëfficiënt gelijk zijn aan 1,155. Dit komt overeen met 2,1 GSC/MWh opgewekte energie.

In onderstaand overzicht worden de belangrijkste parameters en rendabiliteit van de 3 scenario's weergegeven. Zoals verwacht zijn alle scenario's rendabel met een terugverdiendtijd van voor alle situaties ongeveer 5j. Scenario FOTO 2 heeft het hoogste rendement gekoppeld (IRR). Door de omvang van de installatie heeft echter scenario FOTO 1 het meest opgebracht na een periode van 20j.

We kiezen echter voor optie FOTO 2 omwille van het evenwicht tussen de huidige investeringskost, rendement en opbrengst op langere termijn.

Tabel 10 Overzicht scenario's PV-installatie

Scenario's PV-installatie	FOTO 1	FOTO 2	FOTO 3	
Vermogen PV-installatie	24,1	19	12,3	kWp
Totale jaarlijkse elektriciteitsproductie	18.900	15.600	10.200	kWh/jaar
Netto benodigde dakoppervlakte	235	186	121	m ²
Investeringskost (excl. premies)	31.900	25.200	17.200	€
Premies	0	0	0	€
Bidirectionele teller	500	500	500	€
Onderhoudskost	450	400	300	€/jaar
Besparing op energiekost	3.800	3.100	2.000	€/jaar
Groenestroomcertificaten	3.800	2.100	2.000	€/jaar
Jaarlijkse financiële opbrengst	7.200	5.800	3.800	€/jaar
Terugverdientijd	5	5	5	jaar
TCO na 20j	104.100	84.700	53.400	€
IRR na 20j	23	24	22	%
Vermeden CO ₂ -uitstoot	11.800	9.200	6.300	kg/jaar

4.1.5 OVERZICHT RENDABILITEIT

Onderstaande tabel geeft met huidig beschikbare informatie de beste inschatting van de economische haalbaarheid van de onderzochte pistes. Bij ontwerp dient de selectie verder onderzocht te worden.

	Investerings- kost excl.premies	Investerings- kost incl.premies	(Meer-) inv.kost incl.premies	Onderhoud skost	Besparing (onderhoud inbegrepen)	Terugverdient tijd	CO ₂ -reductie	Investing / CO ₂ - reductie
	€	€	€	€/jaar	€/jaar	jaar	kg/jaar	€ / kg CO ₂
WKK-installatie	80.100	80.100	77.000	1.900	10.300	9	6.400	12,0
Lucht/water warmtepomp	19.600	14.700	100	600	-2.500	>20	33.500	0,003
Grond/water warmtepomp BEO-veld (verwarmen+koelen)	211.000	158.250	143.650	1.650	-650	>20	37.100	3,9
PV-installatie	25.200	25.200	25.200	400	5.800	5	9.200	2,7