

Earth, Wind & Fire in gestapelde woningbouw

Vergelijking van een conventioneel en een EWF ventilatiesysteem in gestapelde woningbouw in een urbane omgeving



*foto van Hotel Breeze te Amsterdam, het eerste gebouw met een EWF ventilatiesysteem.

Dit project is uitgevoerd door
ABT Ingenieurs in bouwtechniek, Bronsema Consult en Ymere

Gegevens project

-

*Een studie naar de meerwaarde en haalbaarheid
van het Earth, Wind & Fire (EWF) concept
ten opzichte van een conventioneel ventilatiesysteem
in gestapelde woningbouw in een urbane omgeving*

-

Projectnummer	TESN118068
Projecttitel	Earth, Wind & Fire in gestapelde woningbouw - Vergelijking van een conventioneel en een EWF ventilatiesysteem in gestapelde woningbouw in een urbane omgeving
Penvoerders	Bronsema Consult ABT Ingenieurs in bouwtechniek
Medeaanvrager	Ymere
Projectperiode	1 januari 2019 - 31 december 2019
Publicatiedatum	24 februari 2020

Gegevens rapport

Opgesteld door	Dr. ing. B. Bronsema (Bronsema Consult) ir. V.R.M. Höfte (ABT) ir. L.L.A.B. Smits (ABT) ir. G. Florian (ABT) ir. C. Meyer (ABT) C. Boks (ABT)
Projectleider	ir. G. Florian (ABT)

Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

De contactpersoon voor meer informatie over dit project is projectleider ir. G. Florian (ABT), te contacteren via de contactgegevens van ABT B.V. te Velp. Een (digitaal) exemplaar van dit rapport is tevens te verkrijgen via de contactpersoon.

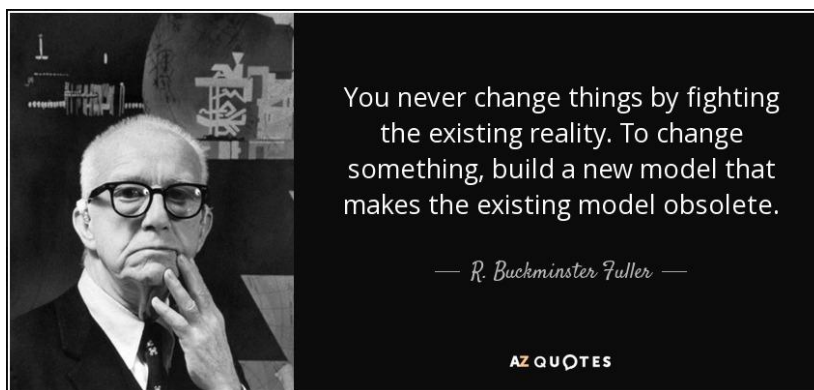
INHOUDSOPGAVE

1	Proloog	4
2	Samenvatting	12
3	Inleiding	13
3.1	Doelstelling van de studie	13
3.2	Werkwijze	13
3.3	Referentieproject en varianten	13
4	Energieprestatie	19
4.1	Methode	19
4.2	Theorie	19
4.3	Technisch ontwerp referentieproject en variant B (conventioneel)	21
4.4	Technisch ontwerp variant C (EWF)	22
4.5	Resultaten BENG vergelijk	24
4.6	Resultaten energiestudie	25
4.7	Conclusie	27
5	Comfort en gezondheid binnenklimaat	29
5.1	Aspecten van comfort en gezondheid	29
5.2	Conclusie	30
6	Kosten	31
6.1	Bouwkosten	31
6.2	Exploitatie	32
6.3	Conclusie	33
7	Milieu impact	34
7.1	Inleiding	34
7.2	Milieu-impact ten gevolge van materiaalgebruik	34
7.3	Milieu-impact ten gevolge van energiegebruik	35
7.4	Conclusie	36
8	Implementatie en economische kansen	37
8.1	Inleiding	37
8.2	Woningcorporatie Ymere	37
8.3	Kansen	37
8.4	Belemmeringen	38
8.5	Vervolgstappen om tot implementatie te komen	39
8.6	Conclusie	39
9	Conclusies, discussie en aanbevelingen	40
9.1	Conclusies	40
9.2	Discussie	41
9.3	Aanbevelingen	42
10	Verwijzingen	43
	Appendix A: Uitvoering van het project	44
	Appendix B: EPC berekeningen Eenhoornproject	46
	Appendix C: Kostenramingen	50
	Appendix D: Theoretisch kader	57

1 Proloog

Inleiding

Tot 2030/2040 zijn in Nederland 1 miljoen nieuwe woningen nodig, een geweldige uitdaging. Volgens het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) zou de helft hiervan in steden of in binnenstedelijke gebieden worden gebouwd, en dus in hoogbouw worden opgetrokken. De werkelijke transformatiepotentie is volgens een raming van projectontwikkelaar BPD maximaal 300.000. Voor een deel zullen dit nieuwe woningen zijn, voor een deel gerealiseerd door transformatie van bestaande kantoor- of andere utiliteitsgebouwen. Deze woningen moeten uiterst energiezuinig, of (bijna) energieneutraal zijn, en in elk geval “los van het gas”. Rekening moet worden gehouden met klimaatverandering en warmte-eiland effecten bij hogere welvaartseisen dan in het verleden. Het aandeel van de installatiekosten in de totale bouwkosten voor binnenklimaat en energie zal hierdoor stijgen. Door het hoge bouwtempo zal de neiging bestaan zoveel mogelijk traditionele technieken in te zetten, omdat dat vaak met minder risico's en bouwtijd gepaard gaat. De nieuwe energieconcepten zijn echter allesbehalve traditioneel, en volgens de huidige inzichten ook aanmerkelijk duurder: de energietransitie is niet goedkoop! De installatiesector acht zichzelf in hoge mate verantwoordelijk voor deze transitie en wrijft zich door de te verwachten omzetting al in de handen. In tegenstelling hiermee staat de noodzaak om met name voor de sociale woningbouw de bouwkosten zoveel mogelijk te drukken. Hoe kunnen we ervoor zorgen dat we geen spijt krijgen van de plannen die in hoog tempo moeten worden ontwikkeld?¹ Zijn er geen mogelijkheden de energietransitie voor de gestapelde woningbouw op een duurzame, eenvoudige en goedkoper manier te realiseren? Probleemoplossingen worden veelal gezocht in verbetering van bestaande technieken. Ben Bronsema, geestelijk vader van het Earth, Wind & Fire concept, pleit daarentegen voor de probleembenadering van Buckminster Fuller².



Figuur 1 - quote van Amerikaanse architect R. Buckminster Fuller (AZQuotes)

Het nieuwe model dat in deze haalbaarheidsstudie wordt geanalyseerd, omvat in hoofdzaak een collectief ventilatiesysteem in een meerlaags woongebouw op basis van het Earth, Wind & Fire concept (Bronsema B., 2013). Met dit concept, in principe ontwikkeld voor natuurlijke airconditioning in kantoorgebouwen, kan niet alleen een substantiële bijdrage worden geleverd aan de noodzakelijke energietransitie in de gestapelde woningbouw, maar kunnen tevens veel voorkomende binnenklimaat-problemen in dit type gebouwen worden voorkomen. Het gaat niet om een hightech, maar om een onderhoudsvriendelijke low-tech oplossing met lage exploitatiekosten. Het EWF-concept is in 2019 voor het eerst toegepast in hotel BREEZE in Amsterdam IJburg, en heeft daarvoor ook de EZK Energy Award Bedrijven 2019 gewonnen. Op de website van het RVO (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2020) wordt hierover geschreven: 'Dat Hotel Breeze als winnaar uit de bus kwam is te danken aan de combinatie

¹ Debat Investeringsplan voor Duurzame Verstedelijking van Neprom/NVBI, 5 april 2018

² Amerikaans architect, systeemtheoreticus, schrijver, ontwerper en uitvinder (1895 – 1983)

van zowel het inspirerende Earth, Wind & Fire totaalconcept, de navolgbaarheid én opschalingsmogelijkheden.'

Energiebesparing in Nederland

De door de EU vastgestelde *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD) (Europese Commissie, 2018) is vanaf het begin van deze eeuw een belangrijke drijfveer geweest voor energiebesparing in de gebouwde omgeving. In Nederland is op basis hiervan de energieprestatiecoëfficiënt EPC ontwikkeld, die de laatste tien jaar steeds uitdagender (lees: strenger) is geworden, en recent de BENG, die naar verwachting op 1 januari 2021 ingevoerd wordt. De *directive* stelt eisen aan de energieprestatie van gebouwen, maar de strekking is breder, in die zin dat ook rekening moet worden gehouden met de binnenklimaatcondities die hierbij worden gerealiseerd. Met name worden hierbij mogelijke negatieve effecten bedoeld zoals onvoldoende ventilatie. Waar EPC en BENG met behulp van rekenmodellen kunnen worden voorspeld, is dit voor binnenklimaatcondities moeilijker vast te stellen.

Energiebesparing in de gebouwde omgeving wordt in hoofdzaak gerealiseerd door verbetering van de thermische isolatie en door kierdichting. Beide maatregelen zijn uiteraard bedoeld voor het stookseizoen, maar hebben in warme zomermaanden een negatief effect. Betere isolatie betekent dat een gebouw minder warmte verliest, maar dat is in de zomer, als de binnentemperatuur door zonnestraling hoog kan oplopen, helemaal niet gewenst. Hetzelfde geldt mutatis mutandis voor verbeterde kierdichting waardoor de continue infiltratie en exfiltratie van buitenlucht, en ergo de gewenste warmteafvoer wordt belemmerd.

Het weren van zonnewarmte in de zomermaanden is uiteraard een uitstekende remedie tegen oververhitting van gebouwen. In vernaculaire architectuur, vooral de bio-klimatische tak hiervan (Bronsema B. , 2012/A) kan dit worden gerealiseerd met behulp van een uitgekiende oriëntering en grote overstekken boven de op zon georiënteerde ramen, dan wel verticale vlakken opzij hiervan. Bladverliezende bomen in de tuin houden 's zomers de zon tegen en laten deze 's winters door. Deze strategie is voor de massa woningbouw in VINEX wijken nauwelijks, en voor flatgebouwen in het geheel niet mogelijk. Een eengezinswoning biedt de bewoners wel de mogelijkheid buitenzonwering aan te brengen, bij warm zomerweer alle ramen tegen elkaar open te zetten, en verkoeling te zoeken in de tuin. Bij een flatgebouw in de stad is de optie van buitenzonwering in principe niet mogelijk, de tweede optie is om veiligheidsredenen of anderszins vaak uitgesloten, en een balkon is voor het zoeken van verkoeling uiteraard minder geschikt dan een tuin. Gevolg hiervan kan zijn dat mensen airconditioning in hun appartement laten installeren, dan wel verkoeling realiseren met behulp van draagbare airconditioners, die tegenwoordig ook nog eens spotgoedkoop zijn. De beoogde energiebesparing wordt hierdoor uiteraard ernstig gefrustreerd. Dit nog afgezien van het feit dat een enkeling zich nauwelijks bewust is van het energiegebruik van deze apparaten. De literatuur vermeldt zelfs een geval van een bewoner die de ventilator van 10W had uitgezet in verband met het vermeende stroomgebruik, zich daarbij niet realiserend dat de aangeschafte airconditioner een veelvoud hiervan nodig had. (Lomas & Porritt, 2017)

Thermisch comfort

Thermisch comfort heeft twee componenten: Temperatuur en Luchtvochtigheid. In het binnenmilieu wordt de temperatuur bij voorkeur uitgedrukt in de zgn. operationele temperatuur, globaal genomen het gemiddelde van de temperatuur van de lucht en die van de omringende vlakken. Zoals in het voorgaande reeds vermeld wordt energiebesparing in de gebouwde omgeving in hoofdzaak gerealiseerd door verbetering van de thermische isolatie en door kierdichting. Mede onder invloed van de EPBD is hier de laatste decennia massaal op ingezet en zijn reeds grote energiebesparingen gerealiseerd.

Het is opvallend dat in de beschouwingen over thermisch comfort, o.a. in ISSO 74, de luchtvochtigheid in het geheel niet aan de orde komt. Ook in andere publicaties en normen speelt deze nauwelijks een rol. Dit suggereert dat in Nederlandse regelgeving de overheersende opvatting is dat de relatieve vochtigheid in het binnenmilieu niet van belang is. Ook in het thermo-fysiologisch model van NEN-ISO 7730 komt het belang van de luchtvochtigheid nauwelijks of niet tot uitdrukking. De invloed van de luchtvochtigheid op de

behaaglijkheid van het binnenmilieu is daarom in het vakgebied van de klimaattechniek ondergewaardeerd (Bronsema B. , 1997). Mensen beschikken niet over sensoren voor luchtvochtigheid. Behaaglijkheid is echter meer dan thermisch comfort. NEN-ISO 7730 stelt in Annex D (informative): *"It is recommended that the relative humidity be kept between 30% and 70%. The limits are set to decrease the risk of unpleasantly wet or dry skin, eye irritation, static electricity, microbial growth and respiratory diseases"*. In woongebouwen wordt normaliter niet aan deze eisen voldaan.

Luchtkwaliteit en fijnstofproblematiek

Philomena Bluysen, hoogleraar Indoor Environment bij de Technische Universiteit Delft, schrijft hierover:

"Meer dan driekwart van de Nederlanders weet niet dat binnenlucht veel meer vervuild kan zijn dan buitenlucht. Bij ongezonde lucht denken mensen vaak aan vervuilende fabrieken of drukke snelwegen. Wat de meeste mensen niet beseffen, is dat ook bepaalde vervuilende, ziekmakende stoffen in alledaagse huishoudelijke voorwerpen de luchtkwaliteit binnenshuis kunnen verslechteren. Voorbeelden zijn schoonmaakmiddelen, plastic speelgoed, meubilair en bouwmaterialen. Ook veel alledaagse activiteiten – koken, schoonmaken, douchen, de was drogen, kaarsen branden en zelfs printen – beïnvloeden de luchtkwaliteit in huis. Ventilatie speelt hierbij een belangrijke rol. Om te voldoen aan de nieuwe eisen die vanaf 2020 voor de nieuwbouw gelden, worden bestaande en nieuwe gebouwen steeds intensiever geïsoleerd en luchtdicht gemaakt. Wanneer hierbij niet voldoende geventileerd en gelucht wordt, resulteert dat in vochtige, schimmelige ruimtes. En dat kan een negatief effect hebben op de gezondheid van de bewoners. Naast een grotere kans op het ontwikkelen van astma neemt het risico op luchtwegaandoeningen, COPD en andere allergieën toe." (Bluysen, 2018)

Een vorm van luchtvervuiling, die gezondheidswetenschappers zorgen baart is fijnstof, in de lucht zwevende deeltjes kleiner dan 10 micrometer, van verschillende herkomst en chemische samenstelling. Fijnstof zit in buitenlucht maar ook binnenshuis komt fijnstof vrij, o.a. door persoonlijke verzorging, bakken en braden, het branden van kaarsen of de open haard. Ventilatie moet dan ook een integraal onderdeel zijn van elke energierenovatie. Ventileren kost echter veel energie en warmteterugwinning uit ventilatielucht is dan ook een absolute noodzaak.

Oververhitting van flatwoningen: een groeiend probleem³

Energiezuinigheid van gebouwen mag niet ten koste gaan van de binnenklimaatcondities, die in veel gebouwen, vooral in de zomermaanden, vaak onder druk staan. Er is momenteel geen algemeen geaccepteerde definitie van oververhitting van flatwoningen in de zomerperiode. Als richtlijn hiervoor zou kunnen dienen het adaptieve thermisch comfortmodel volgens ISSO-publicatie 74 "Thermische Behaaglijkheid". Dit model geldt voor natuurlijk geventileerde kantoorgebouwen waarbij gebruikers goede mogelijkheden hebben voor individuele beïnvloeding van het binnenklimaat door te openen ramen, en de mogelijkheid hun kleding aan te passen aan een veranderende ruimtetemperatuur.

Voor woningen is vooral de kwaliteit van de nachtrust van belang, waarvoor andere, vooralsnog onbekende criteria gelden. In flatwoningen is het soms ook niet mogelijk 's nachts ramen in de slaapkamer te openen in verband met stadslawaai en/of inbraakrisico's. In een Engelse richtlijn worden maximum operationele temperaturen genoemd van 28°C in woonkamers en 26°C in slaapkamers (Nicol & Spires, 2013). Deze temperaturen mogen tijdens de zomerperiode van 1 mei - 30 september (153 dagen) gedurende maximaal 3% van de aanwezigheidsuren met $\leq 1K$ worden overschreden. Aanvullend geldt een drempel van maximaal 6 graduren op één dag en een absolute grenswaarde van $\leq 4K$. Voor een slaapkamer met 8 aanwezigheidsuren betekent dit dat in de zomerperiode de temperatuur van 26°C met $0,03 \cdot 153 \cdot 8 \approx 37$ uur met 1K mag worden overschreden. Voor het simuleren

³ Bij deze paragraaf is uitvoerig geciteerd uit (Lomas & Porritt, 2017).

en modelleren van het binnenklimaat lijken dit redelijke uitgangspunten, maar het valideren hiervan in de praktijksituatie zal niet eenvoudig zijn. Bovendien kan de vraag worden gesteld of het type bewoner niet ook een belangrijk gegeven is. Zouden voor kwetsbare ouderen geen zwaardere eisen moeten gelden dan voor jonge en gezonde mensen?

Voor toekomstbestendige woningen zou ook rekening moeten worden gehouden met de verwachte klimaatverandering. De extra mortaliteit tijdens de 10 dagen durende hittegolf in 2003 lag in Engeland 2000 slachtoffers boven het gemiddelde in een zomerperiode. Verwacht wordt dat tegen 2040 dergelijke temperaturen eerder regel dan uitzondering zullen zijn, en dat de extra mortaliteit tegen 2050 verdrievoudigd zal zijn (Lomas & Porritt, 2017).

Dit effect wordt nog versterkt door het zgn. warmte-eilandeffect, het verschijnsel dat de temperatuur in een stedelijk gebied gemiddeld hoger is dan op een bepaald referentiepunt in het omliggende landelijk gebied. Tijdens de zomerperiode kan dit effect oplopen tot 4 - 8 °C. (Bronsema B. , 2012/B)

De bouwindustrie streeft altijd naar kostenreductie, o.a. door sneller te bouwen met behulp van prefabricage van bouwelementen. Metselwerk wordt hierbij vervangen door lichte binnenwanden, met gering thermisch accumulatievermogen, die daardoor echter weinig warmte op kunnen nemen. Dit manifesteert zich in thermisch minder tolerante gebouwen met inherent hogere ruimtetemperaturen.

Tenslotte worden mensen ook veeleisender met betrekking tot hun binnenklimaat. Komend uit een geconditioneerde kantoorruimte rijdt men in een geconditioneerde auto naar huis en arriveert in een oververhit huis. Een koel plekje in de tuin kan dan voldoende soelaas bieden, maar in flatwoning is deze mogelijkheid niet voorhanden.

Ontwikkeling van koudevraag van woningen

De in voorgaande paragrafen aangeroerde problematiek is uitvoerig uitgewerkt in een recent door W/E-adviseurs in opdracht van de RVO opgesteld rapport (W/E adviseurs, 2018). De onderstaande samenvatting is hieraan ontleend.

Samenvatting

Uit verschillende onderzoeken en vanuit verschillende hoeken van de markt wordt een toenemende behoefte aan koudelevering de komende jaren verwacht. Oorzaken zijn onder meer klimaatverandering, sterk verbeterde luchtdichtheid en thermische isolatie, toenemende interne warmtelast, hogere verwachtingen van comfort door gewinning aan gekoelde auto, trein en werkplek. Daarnaast is bekend dat hoge temperaturen leiden tot hogere sterftcijfers zodat beperken van oververhitting ook vanuit gezondheidsoogpunt noodzakelijk kan worden.

Consument

Er is echter nauwelijks onderzocht wat consumenten van temperatuuroverschrijding in de zomer vinden. Evenmin is bekend welke overwegingen zij maken al dan niet een koelinstallatie aan te schaffen. Daardoor weten we ook niet welke interventies nodig zijn om zo'n aanschaf te ontmoedigen of juist te stimuleren. Wat ook ontbreekt, is een duidelijk onderscheid tussen comfortkoeling en noodzakelijke koeling voor een leefbaar binnenklimaat.

Verwachting

De verwachting is dat de temperatuur op de warmste zomerdag in 2050 zo'n 1,4 °C tot 3,3 °C hoger ligt dan nu en dat het aantal zomerse dagen (≥ 25 °C) toeneemt van 21 dagen nu, tot mogelijk 35 dagen in 2050 en 49 dagen in 2085. Het aandeel 65-plussers - een extra kwetsbare groep voor hoge temperaturen - stijgt tegelijkertijd met circa 50% (in 2050). Daar bovenop neemt de verstedelijking toe. Door het urban heat island effect kan het effect van temperatuurstijging door klimaatverandering in stedelijke gebieden 2x zo hoog zijn als op het platteland.

Bouwpraktijk

Binnen de huidige bouwpraktijk worden nog (te) weinig maatregelen toegepast om de koudevraag of het risico op oververhitting te beperken. Verkennende berekening laten zien dat een ontwerp voor een woning op BENG-niveau tot zeer hoge temperatuuroverschrijding kan leiden als maatregelen om de warmtelast te beperken uitblijven. Koeling (het met passieve/bouwkundige maatregelen voorkomen van koelvraag en/of het actief koelen) van woningen is daarom op termijn geen nice to have, maar een must have om het binnenklimaat leefbaar te houden. Ook klimaatadaptieve aanpassingen buiten de gebouwen kunnen helpen de koelbehoefte te beperken. Belangrijk is ook dat er voldoende (betaalbare) effectieve voorzieningen beschikbaar zijn waarmee men het risico op oververhitting beperkt, zoals automatische zonwering en spuivoorzieningen. En dat actieve koelvoorzieningen verder worden ontwikkeld (verhogen rendement en comfort, verlagen geluidsbelasting, verbeteren esthetiek).

Energiebesparingsdoelen

Bij oplopende buitentemperaturen en toenemende behoefte aan comfort ontstaat toch een behoorlijke energievraag voor koudelevering. Zonder interventies zal deze toename zeker voldoende zijn om effect te hebben op de energiebesparingsdoelen van Nederland. Er is weinig bekend over penetratiegraad en energiegebruik van koudeinstallaties. Om een realistisch beeld te krijgen van het werkelijke aandeel van koudevraag in de totale energievraag is nader onderzoek nodig.

Wet- en regelgeving

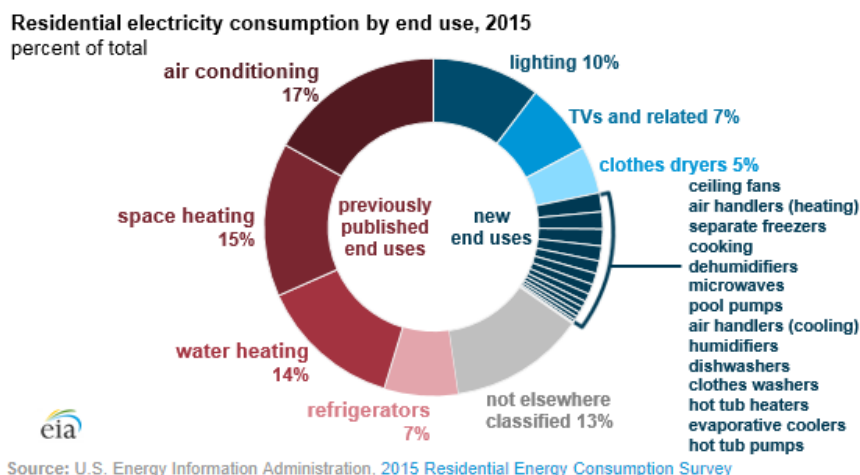
In het Bouwbesluit staan geen expliciete eisen om het risico op oververhitting in nieuwe (BENG-)woningen te beperken, noch is er een praktisch toepasbare methodiek om dat risico te kwantificeren. Datzelfde geldt nageïsoleerde woningen (niveau nul-op-de-meter).

Airconditioning in woningen

Airconditioning in woningen wordt algemeen als een 'nice-to-have' voorziening gezien, maar gezien de beschouwingen in de voorgaande paragrafen is het niet onwaarschijnlijk dat het op termijn, zeker in flatwoningen, een 'must-have' voorziening wordt.

In de VS is 87% van de woningen voorzien van airconditioning en het gemiddelde stroomgebruik hiervan omvat 17% van het totale stroomgebruik, meer dan de 15% voor de verwarming- zie onderstaande figuur. Deze nationale gemiddelden liggen dichtbij de gemiddelden in regio's met een gematigd zeeklimaat en zijn daarom ook representatief voor Nederland. Als we, zoals op veel gebieden, de VS achternagaan, zou dit dus ook de toekomst voor ons land kunnen zijn. De grote run op airconditioners in de maanden juli en augustus lijkt dit beeld te bevestigen.

EIA's residential energy survey now includes estimates for more than 20 new end uses



Figuur 2 - elektriciteitsconsumptie in het jaar 2015 van huishoudens in de VS

In de per 2020 in te voeren BENG-indicatoren wordt het primair fossiele energiegebruik voor verwarming, koeling, warmtapwaterbereiding en ventilatoren gemaximeerd op 40 kWh per m² gebruiksoppervlak per jaar. Het is interessant om vast te stellen dat de energie die voor koeling nodig is moet worden gecompenseerd door een lager energiegebruik voor verwarming. De facto betekent dit dat de woning nog beter moet worden geïsoleerd, hetgeen echter weer een grotere koudevraag tot gevolg kan hebben en bovendien tot kostenverhoging leidt.

Toepassing van het Earth, Wind & Fire concept voor Natuurlijke Airconditioning biedt een elegante en kosteneffectieve oplossing voor dit dilemma.

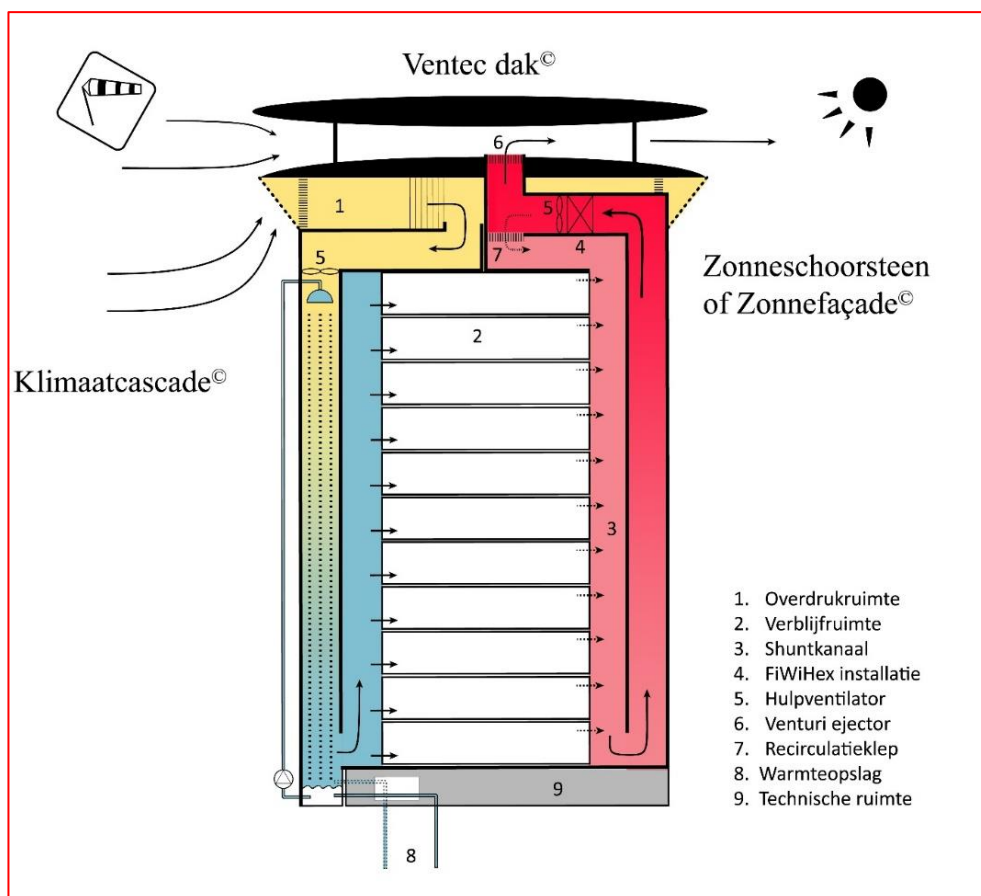
Een perfecte storm⁴

In deze 'perfecte storm' van energiezuinigheid, CO₂-reductie, klimaatverandering met warmere zomers en frequentere hittegolven, toenemende urbanisatie, warmte-eiland effecten, sneller en lichter bouwen, thermisch minder tolerante gebouwen, schaarse grond met toenemende grondprijzen, hogere gebouwen, milieukwaliteit van de buitenlucht, fijnstofproblematiek in de binnenlucht, een verouderende bevolking die in het nieuwe zorgstelsel ook langer in hun woning blijven wonen dan vroeger, moet een weg worden gezocht naar een toekomstbestendige oplossing.

Het EWF-concept in een notendop

Het Earth, Wind & Fire concept is in een joint venture met TU Delft, TU Eindhoven en enkele externe partners als promotieonderzoek uitgewerkt, waarbij de geschiktheid voor toepassing in de praktijk is aangetoond. Het betreffende onderzoek is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie; regeling Energie Onderzoek Subsidie: lange termijn (artikel 18b). Het EWF-concept, zie figuur 3, is ontwikkeld voor kantoorgebouwen, en het voorliggende onderzoek is bedoeld als testcase voor toepassing in de woningbouw.

⁴ Engelse term voor een combinatie van verschillende, zeer ongunstige ontwikkelingen



Figuur 3 - het EWF-concept

Luchttoevoer wordt verzorgd door de klimaatcascade, een bouwkundige schacht. Op dakniveau stroomt buitenlucht naar binnen, die via de overdrukruimte (1) de klimaatcascade instroomt. Bovenin de cascade wordt koud water met een temperatuur van 13°C gespreid, waardoor 's zomers de lucht wordt gekoeld tot ca. 18°C en 's winters wordt voorverwarmd tot ca. 7° à 8°C. Koude wordt onttrokken aan de bodem via een WKO-systeem.

De honderdduizenden druppels vormen samen een warmtewisselaar met een zeer groot oppervlak, waardoor met zeer kleine temperatuurverschillen tussen water en lucht kan worden gewerkt. Deze warmtewisselaar heeft geen luchtweerstand, maar levert zelfs druk op. De soortelijke massa van het water/luchtmengsel in de cascade is namelijk aanzienlijk groter dan die van de buitenlucht waardoor aan de voet van de klimaatcascade druk wordt opgebouwd die wordt gebruikt voor de luchtverdeling in het gebouw via de verticale toevoerschacht.

Door het innige contact tussen sproeispectrum en lucht worden verschillende bestanddelen in de buitenlucht, en mogelijk ook fijnstof, in het water geabsorbeerd, waardoor de luchtkwaliteit wordt verbeterd. 's Zomers wordt de lucht enigszins gedroogd door condensatie van waterdamp op de koude waterdruppels en 's winters wordt de lucht automatisch bevochtigd. Een goede reiniging en desinfectie van het sproeiwater is uiteraard essentieel.

In dit concept van 'stille airconditioning' zijn ventilatoren, en dus ook geluiddempers, in beperkte mate benodigd. Het geurverbeterende sproeispectrum komt in de plaats van geuremitterende luchtfilters. Het energiegebruik voor de sproeipomp wordt gecompenseerd door de ontstane natuurlijke druk.

De gebruikte ventilatielucht wordt afgezogen via de afvoer/recirculatieschacht (8), die aan de voet is aangesloten op de zonneshoorsteen, een bouwkundige schacht voorzien van isolatieglas op of in een zuidelijk georiënteerde gevel. Door zoninstraling wordt de lucht in de zonneshoorsteen verwarmd, en de hierdoor ontstane thermische trek werkt als afzuigventilator voor de lucht.

Aan de top van de zonneshoorsteen wordt met behulp van een WTW-systeem (4) warmte uit het gebouw en zonnewarmte teruggewonnen. De warmte wordt ofwel direct in het gebouw benut dan wel via het WKO-systeem naar de bodem gevoerd voor herstel van het thermisch bodemevenwicht. De gebruikte lucht wordt door onderdruk in het Ventecdak via de venturi-ejector bovendaks afgevoerd. Om in kantoorgebouwen ook buiten bedrijfsuren zonnewarmte terug te kunnen winnen, bijvoorbeeld in de weekeinden, wordt de lucht via de afzuigschacht (3) gerecirculeerd. Dit is niet van toepassing in de woningbouw.

Hulpventilatoren (6) zorgen ervoor dat onder alle omstandigheden het luchttransport in stand blijft. De ventilatorenergie wordt geleverd door zonnepanelen op het dak.

2 Samenvatting

Deze studie onderzoekt de meerwaarde en haalbaarheid van het innovatieve natuurlijke airoconditioningsysteem Earth, Wind & Fire (Bronsema B. , 2013) ten opzichte van een conventioneel installatiesysteem. Hierbij luidt de hoofdvraag:

"Wat is de meerwaarde en de haalbaarheid van het Earth, Wind & Fire (EWF) concept ten opzichte van een conventioneel ventilatiesysteem in gestapelde woningbouw?"

Het onderzoek beantwoordt deze vraag door hypothetisch het EWF-concept toe te passen op een referentie woningbouwproject dat reeds gerealiseerd wordt (Project Eenhoorn, Amsterdam) en de verschillen in prestaties en haalbaarheid te benoemen tussen deze gerealiseerde variant met een conventioneel ventilatiesysteem (variant B) en de hypothetische variant die gebruikt maakt van EWF (variant C). De vergelijking is gemaakt op vijf verschillende aspecten, namelijk de energieprestatie, het comfort van het binnenklimaat, de kosten, de milieu-impact en de implementatie- en exploitatiemogelijkheden.

- Uit het onderzoek blijkt dat variant C (EWF) voor het reguleren van het binnenklimaat in zijn geheel 19% minder energie verbruikt dan variant B (conventioneel). Voor één woning komt dit neer op een daling van het energieverbruik van 4481 kWh naar 3630 kWh, een besparing van 851 kWh per jaar. Als de koudelevering (die bij EWF optreedt in de klimaatcascade door het sproeien van koud water) ook wordt gezien als energiebesparing, is de totale energiebesparing 28%, respectievelijk 1120 kWh per jaar.
- Ten aanzien van het comfort van het binnenklimaat presteert de EWF-variant beter op zowel meetbare als niet-meetbare factoren, waaronder de luchtkwaliteit, binnentemperatuur en gebruiksvriendelijkheid. Het EWF-concept faciliteert een comfortabeler en gezonder binnenklimaat.
- Op het gebied van milieu-impact leidt toepassing van het EWF-concept tot een 35% lagere uitstoot CO₂-equivalent door verminderd energiegebruik. Wat betreft materiaalgebruik is er vrijwel geen verschil in schaduwkosten tussen variant B (conventioneel) en variant C (EWF).
- Ten opzichte van een conventioneel systeem nemen bij het EWF-concept de geschatte bouwkosten toe met 1,5%, voornamelijk als gevolg van de bouwkundige ingrepen zoals de zonneshoorsteen en de klimaatcascade.
- Op het gebied van exploitatie en implementatie biedt het EWF-concept veel voordelen. Echter, de risico's en extra investering als gevolg van het innovatieve karakter van het concept vormen tot op heden een belemmering voor implementatie door woningcorporaties.

Een belangrijke deelconclusie is dat de algemene prestaties van het EWF-concept, zoals onderzocht in dit onderzoek, verbeteren bij toepassing van het concept in hogere gebouwen. Het referentieproject heeft 'slechts' vier bouwlagen, en toepassing in hogere gebouwen zorgt voor betere prestaties van de voordelen van het EWF concept.

De conclusie is dat het EWF-concept beter presteert dan een conventioneel ventilatiesysteem qua energiegebruik, comfort en milieu-impact. De bouwkosten zijn 1,5% hoger. Het antwoord op de hoofdvraag van dit onderzoek is daarmee dat het EWF-concept een duidelijke meerwaarde kent ten opzichte van een conventioneel systeem, en daarmee effectief toepasbaar is in lage gestapelde woningbouw. Echter, de drempel bij het toepassen van het EWF principe wordt momenteel nog gevormd door de complicaties op het gebied van implementatie en exploitatie. Deze drempel moet worden overkomen door het voortouw te leggen bij een partij die de verantwoordelijkheid kan nemen over het ontwerp en de exploitatie van het concept. Dit zou een ESCo in samenwerking met een ingenieursbureau kunnen zijn.

3 Inleiding

In september 2018 is door ABT, Bronsema consult en Ymere een subsidieaanvraag ingediend voor een onderzoek naar *Energietransitie in een Toekomstbestendige Hoogbouw*. Deze subsidie is verstrekt (projectnummer RVO TESN118068) en dit document is het schriftelijk resultaat van dit onderzoek.

3.1 Doelstelling van de studie

Het overkoepelende doel van deze studie is effectief bij te dragen aan de energietransitie voor aardgasloze gestapelde woningbouw op een toekomstbestendige, duurzame, eenvoudige en kosteneffectieve manier.

Concreet vertaalt zich dit in deze studie naar het achterhalen van de meerwaarde en de haalbaarheid van het Earth, Wind & Fire (EWF) concept ten opzichte van een conventioneel ventilatiesysteem. De vergelijking focust zich op de randvoorwaarden, de beperkingen, het binnenklimaat, de aanlegkosten en de exploitatiekosten.

3.2 Werkwijze

Het rapport begint met een beschrijving van het referentieproject en de twee daaruit opgestelde varianten, variant B (conventioneel ventilatiesysteem) en variant C (EWF ventilatiesysteem), die vergeleken worden. Vervolgens worden de verschillen tussen variant B en variant C op respectievelijk de energieprestatie, comfort, kosten, CO₂-uitstoot en economische kansen toegelicht. De vergelijking op deze onderwerpen vormt de basis voor het beantwoorden van de hoofdvraag: "Wat is de meerwaarde en de haalbaarheid van het Earth, Wind & Fire (EWF) concept ten opzichte van een conventioneel ventilatiesysteem in gestapelde woningbouw?".

Deze vraag wordt beantwoord in de conclusie van het rapport.

3.3 Referentieproject en varianten

Het referentieproject en de twee varianten die met elkaar worden vergeleken worden omschreven in deze paragraaf. Het vetrekpunt van deze studie is het toepassen van het EWF-concept op een typisch woningbouwproject. Als typisch woningbouwproject is gekozen voor het referentieproject Eenhoorn te Amsterdam. Op basis hiervan zijn twee varianten gemaakt; variant B (conventioneel) en variant C (EWF). Variant B is gelijk aan het referentieontwerp Eenhoorn, maar dan zodanig aangepast dat deze voldoet aan de huidige (energie)regelgeving (BENG); variant C is gelijk aan variant B, maar dan uitgevoerd volgens het EWF-concept.

	Gebouw- begrenzing	Transmissie	Infiltratie	Verwarming	Tapwater	Koeling	Ventilatie
Ref	conform ontwerp	6,0/4,5/3,5	0,42	ESCo	ESCo	Niet actief slechts spui	C1 met CO ₂ afvoer
B	idem	6,3/4,7/3,7	idem	WKO, WW WP	Collectieve booster	idem	idem
C	idem	idem B	idem	idem B	idem B	EWF lucht als koeling	EWF

Tabel 1 - de verschillen tussen de twee varianten en het referentieproject

Het referentieproject

Het Eenhoornproject te Amsterdam is een project van corporatie Ymere dat op dit moment (2019/2020) wordt gebouwd. Qua ontwerp is dit project voor corporatie Ymere een typisch woningbouwproject waarvan zij er al vele hebben ontwikkeld.

Variant B - Conventioneel

Idem referentieproject, maar met de volgende concrete verschillen:

- Hogere R_c -waardes → om BENG-1 te halen
- WKO → geen gebruik maken van externe warmtelevering

Variant C - Earth, Wind & Fire

Idem variant B, maar met de volgende concrete verschillen:

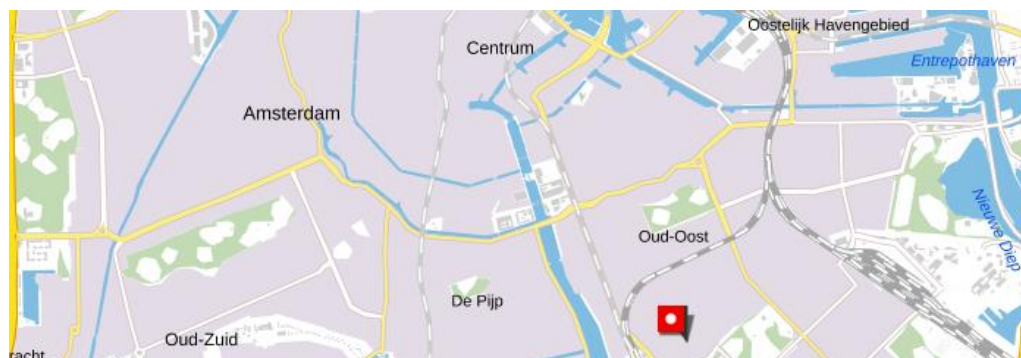
- Ventilatie → volgens EWF-concept
- Koeling → via ventilatielucht (klimaatcascade)

In tabel 1 zijn de verschillen tussen het referentieproject en de twee varianten samengevat. In de volgende paragraaf worden ze alle drie verder toegelicht.

3.3.1

Het referentieproject

Het in aanbouw zijnde bouwproject van Ymere op het Eenhoornterrein Amsterdam-Oost (zie de rode markering in figuur 4) omvat de bouwblokken 3 en 4 met respectievelijk 88 en 71 appartementen in 4 bouwlagen (zie figuur 5). De twee bouwblokken zijn ontworpen door Korth Tielen architecten.

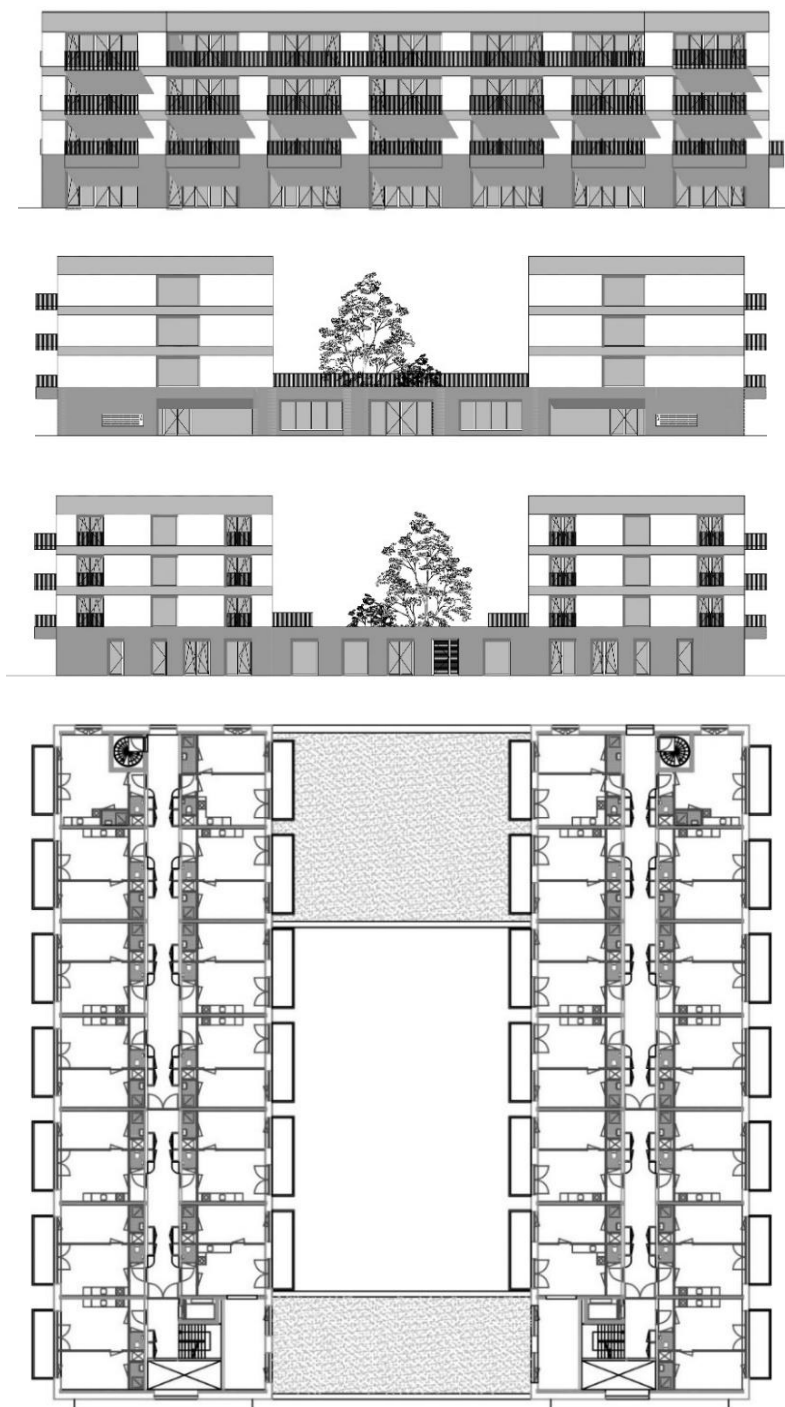


Figuur 4 - de rode markering betreft de locatie van het referentieproject (www.google.nl/maps)



Figuur 5 - situatietekening van bouwblok 3 en 4 en impressie van bouwblok 3

Voor deze haalbaarheidsstudie is bouwblok 3 van het Eenhoorproject als uitgangspunt genomen. Bouwblok 3 bestaat uit twee vleugels van 4 bouwlagen die op de begane grond met elkaar verbonden zijn door de gemeenschappelijke fietsenstalling en een gemeenschappelijke wasruimte en lobby. Er zijn vijf type appartementen, variërend tussen de 30 en 80m² per woning. Het gebouw heeft een totaal gebruiksoppervlak van 5.943 m² volgens NEN 2580.

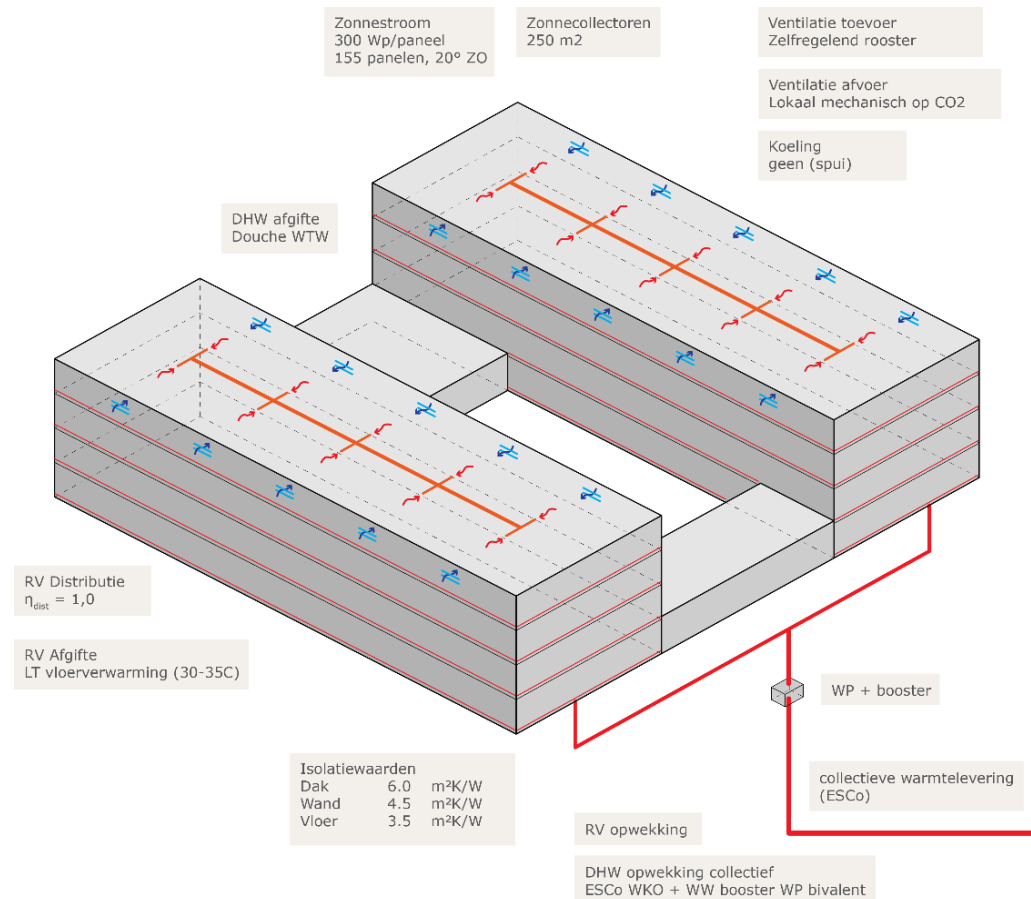


Figuur 6 - gevelaanzichten (v.b.n.o.) van ZW, ZO, NW gevel en plattegrond van 1^e verdieping

Het klimaatsysteem van het referentieontwerp is redelijk standaard voor dit type gebouw. De belangrijkste aspecten van het bouwfysische en installatietechnische ontwerp zijn (zie ook figuur 7):

- De appartementen worden geventileerd door middel van natuurlijke toevoer (zelfregelende roosters in de gevel) en mechanische afvoer;

- Een ESCo verzorgt de warmtelevering, waarbij gebruik wordt gemaakt van externe warmtelevering;
- De appartementen hebben lage temperatuur vloerverwarming.



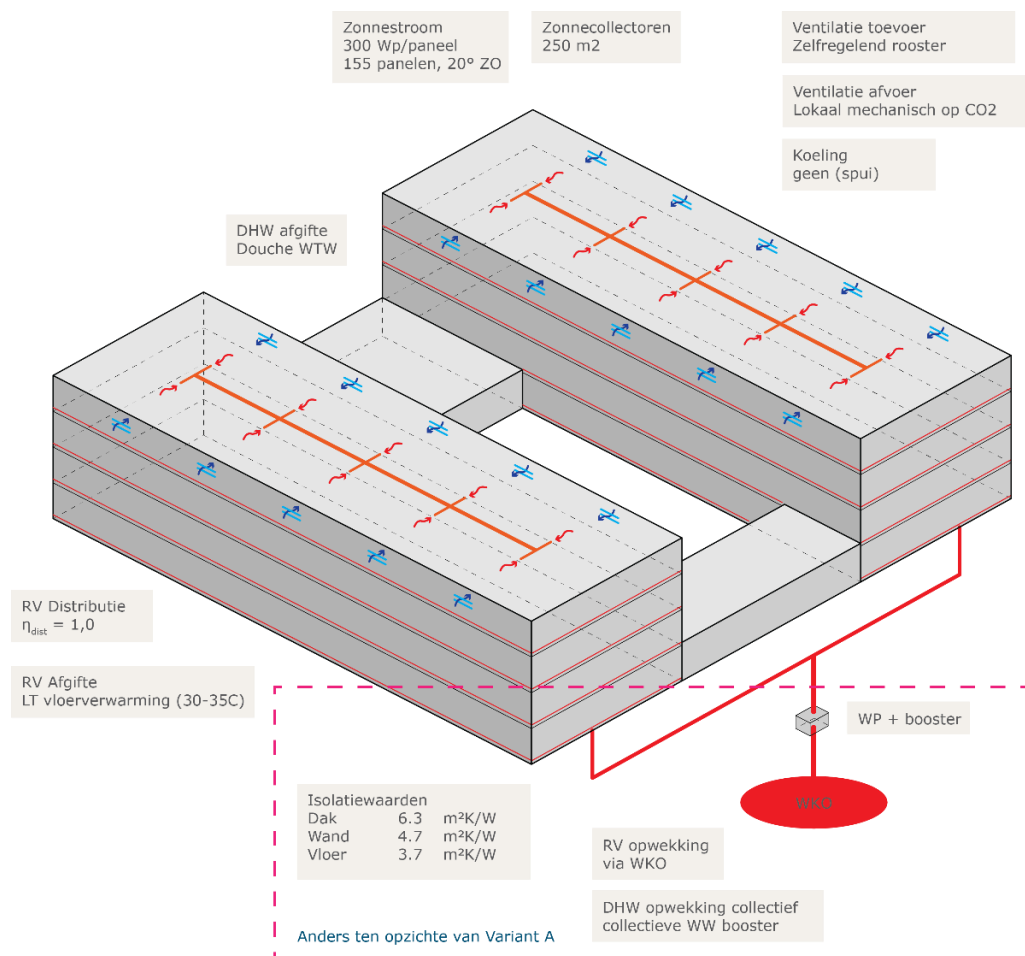
Figuur 7 - axonometrie van het bouwphysische en installatietechnische ontwerp van het referentieproject

3.3.2 Variant B (conventioneel ventilatiesysteem)

Architectonisch gezien zijn in variant B geen wijzigingen doorgevoerd ten opzichte van het referentieproject.

Op het gebied van bouwphysica en installatietechniek zijn in variant B de volgende wijzigingen doorgevoerd ten opzichte van het referentieproject (zie ook de aspecten in de roze omlijnde rechthoek van figuur 8):

- Om te voldoen aan BENG-1 moeten de isolatiewaarden van dak, wanden en vloer worden verhoogd;
- Er wordt geen gebruik gemaakt van externe warmtelevering vanuit een ESCo, maar van een lokale WKO.
- Op deze WKO is een collectieve warmtepomp aangesloten voor vloerverwarming en een collectieve boosterwarmtepomp voor de warmtapwatervoorziening. (N.B. dit is niet per se anders dan binnen de ESCo in het referentieproject, maar wordt apart benoemd omdat de benadering van energiegebruik en energiefactoren hierdoor beïnvloed wordt)



Figuur 8 - axonometrie van het bouwfysische en installatietechnische ontwerp van variant B

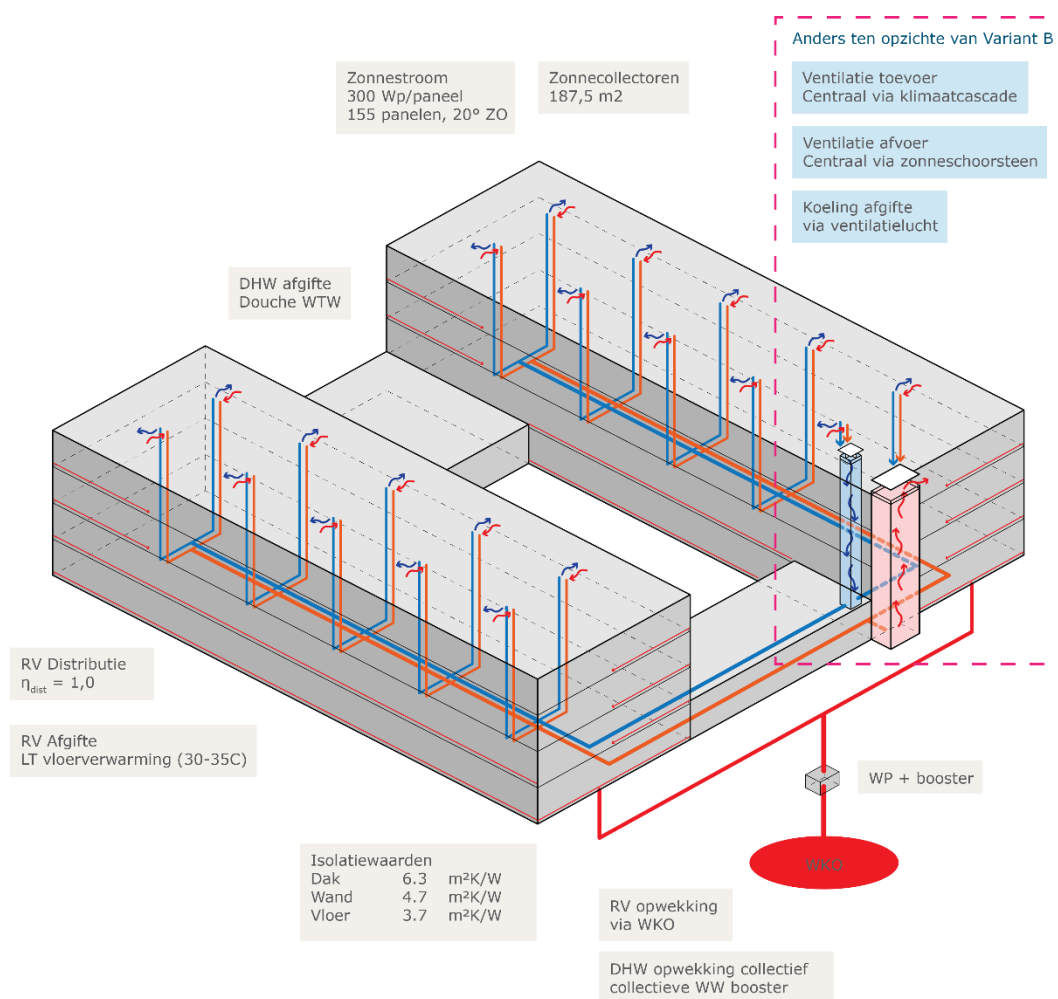
3.3.3 Variant C (EWF ventilatiesysteem)

Architectonisch gezien zijn in variant C de volgende wijzigingen doorgevoerd ten opzichte van variant B:

- Toevoeging van zonneshoorsteen aan de zuidgevel van het gebouw. De zonneshoorsteen is 3,8m breed en 0,65m diep. De schoorsteen bevat 3 glazen wanden, en een 4^e wand (de zijde tegen de gevel) van een warmte absorberend plaatmateriaal.

Op het gebied van bouwfysica en installatietechniek zijn in variant C de volgende wijzigingen doorgevoerd ten opzichte van variant B (zie ook de aspecten in de roze omlijnde rechthoek van figuur 9):

- Er is een klimaatcascade geplaatst in het gebouw, direct naast de liftschaft. Deze klimaatcascade, een betonnen koker met schimmelwerende, geurvrije, wasbare en waterafstotende coating aan de binnenzijde, is 1,1m bij 1,1m. Bovenaan bevindt zich een sproei-installatie, van waaruit een variabele stroom aan kleine waterdruppeltjes sproeit;
- De appartementen worden geventileerd met het EWF-concept. Toevoer van lucht vindt niet plaats via zelfregelende roosters in de gevel (zoals bij het referentieproject en bij variant B), maar via de klimaatcascade. Afvoer van de lucht vindt plaats via de zonneshoorsteen;



Figuur 9 - axonometrie van het bouwфysische en installatietechnische ontwerp van variant C

4 Energieprestatie

4.1 Methode

Bij het bepalen van de meerwaarde van het EWF-concept in woningbouwprojecten zijn twee zaken van belang wat betreft energieberekeningen;

- Het voldoen aan de geldende energieregelgeving
- Het verschil in energieprestatie tussen conventioneel en EWF-ontwerp

Per 1 juli 2020 is de geldende regelgeving voor energiegebruik van gebouwen de BENG, met de bijbehorende rekenmethode NTA8800. De varianten worden getoetst of ze voldoen aan de BENG-eisen. Het doel is dat variant B zodanig wordt aangepast dat deze voldoet aan de BENG-eis.

Om het verschil in energieprestatie tussen conventioneel en EWF-ontwerp te bepalen, wordt van dynamische software (IES VE, www.iesve.com/) gebruik gemaakt in plaats van de NTA8800. BENG en de NTA8800 zijn genormeerde berekeningen. Hierdoor zijn ze functioneel voor het eerlijk vergelijken van gebouwonwerpen ten aanzien van regelgeving, maar geven ze niet een realistisch beeld van het werkelijk energieverbruik.

Door deze aanpak worden het referentieproject en variant B berekend voor BENG, en worden variant B en C berekend middels de dynamische software. Het voldoen aan de BENG-eis wordt beschouwd als een randvoorwaarde.

4.2 Theorie

4.2.1 Theorie BENG-eisen

Dit hoofdstuk beschrijft eerst de BENG-eisen en de BENG-prestaties van de ontwerpen. Vervolgens gaat het in op de werkelijk (gesimuleerde) energieprestatie van de varianten.

Eisen (BENG/EPC) versus rekenmethodiek (NTA8800/NEN7120)

Het is van belang het verschil te erkennen tussen eisen en rekenmethodiek. Zowel de energetische eisen als de rekenmethodiek om te bepalen of aan die eisen wordt voldaan, wijzigen in juli 2020.

- Eisen:
 - o EPC-eisen (tot juli 2020)
 - o BENG-eisen (vanaf juli 2020)
- Rekenmethodiek
 - o NEN7120 (tot juli 2020)
 - o NTA8800 (vanaf juli 2020)

In de eerste plaats is het verschil tussen de eis en de berekeningsmethodiek van belang. De NTA8800 en de NEN7120 omschrijven beide een genormeerde methode om energieprestatie te berekenen. Beide methodes doen geen uitspraak over de vereiste prestatie zelf. De ambitie is dat deze methodes zo lang mogelijk vast staan en zo min mogelijk wijzigingen ondergaan, in het belang van de industrie.

De BENG-eisen en EPC-eis omschrijven de door de overheid c.q. Bouwbesluit geëiste energieprestatie, berekend volgens de juiste rekenmethodiek. Deze eis wordt regelmatig (naar beneden) bijgesteld. Zo begon de EPC-eis in 1996 op een waarde van $EPC = 1,4$, en is sinds 2015 de maximale waarde $EPC = 0,4$. Vanaf juli 2020 gelden de BENG-eisen in plaats van de EPC-eis.

BENG eisen

Ten tijde van het opstellen van dit rapport is er nog enige onzekerheid over de definitieve BENG-eisen, door enige politieke vertraging. Sinds 11 juni 2019 zijn de BENG-eisen die per 1 januari 2021 ingaan definitief. Voor een woongebouw gelden de volgende eisen:

	Omschrijving	Eis voor dit project
BENG 1	Energiebehoefte van een gebouw	< 65 kWh/m ² *
BENG 2	Primair fossiel energiegebruik	< 50 kWh/m ²
BENG 3	Aandeel hernieuwbare energie	> 40 %

*De verliesfactor is $A_h/A_g = 6300 / 3900 = 1.6$. Dit is <1,83 en resulteert in de eis <65 kWh/m² voor BENG-1 in het geval van een woongebouw. Een andere verliesfactor resulteert mogelijk in een andere eis.

Voor dit project betekent dit dat variant B en variant C moeten voldoen aan deze eisen, om aan te geven dat het om realistische gebouwen gaat. In het belang van het ontwerpproces wordt het referentieproject ook getoetst aan deze eisen; immers, variant B is het referentieproject, maar dan zodanig aangepast dat deze voldoet aan de BENG-eisen en onafhankelijk is van een ESCo.

Verschillen in EPC-eisen en BENG-eisen

Er zijn veel verschillen tussen de BENG en de EPC, de belangrijkste worden hieronder genoemd (Nieman). Het referentieproject is ontworpen vanuit de voormalige NEN7120. Per eis wordt in *schuingedrukt* aangegeven wat de impact hiervan is op dit traject.

Verschil: In de eerste plaats zijn BENG-eisen een aanscherping van de EPC-eisen. De eisen zijn zoals omschreven in bovenstaande tabel.

Impact: *Zodoende bestaat er een referentieproject en een variant B, waarbij wordt verzekerd dat variant B voldoet aan de aangescherpte eisen.*

Verschil: De minimale Rc-waardes wijzigen op het moment dat de BENG-eisen van kracht worden naar:

- Rc vloer: minimaal 3,7 m²K/W
- Rc gevel: minimaal 4,7 m²K/W
- Rc dak: minimaal 6,3 m²K/W

Impact: *Het referentieproject had lagere waardes, zodoende zal variant B zodanig worden aangepast dat deze voldoet aan deze eisen.*

Verschil: Het ventilatiesysteem heeft invloed op het primair fossiele energiegebruik (BENG 2). Voor de bepaling van de energiebehoefte van het gebouw (BENG 1) wordt gerekend met een vastgesteld ventilatiesysteem, te weten systeem C1, onafhankelijk van het daadwerkelijke ventilatiesysteem. De keuze in ventilatiesysteem voor BENG 1 is dus techniekneutraal.

Impact: *Een belangrijke conclusie is dat het EWF-concept geen impact kan hebben op BENG-1 door verbeteringen in ventilatie.*

Verschil: De NTA8800 en NEN7120 verschillen significant in berekeningsmethodiek. Wat de verschillen exact zijn, is nog niet precies helder. Dit is mede het gevolg van het, op dit moment, nog ontbreken van gevalideerde rekensoftware.

Impact: *Voor deze studie wordt gebruik gemaakt van twee methodieken om een benadering te doen van de BENG-prestatie;*

- De BENG-indicatoren op basis van de NEN7120
- De voorlopige BENG validatietool, uitgegeven door NEN, versie 1.28, ontwikkeld door INNAX in opdracht van NEN, gebaseerd op NTA8800 documentatie van juni 2019

Vershil: De NTA8800 kent een vereenvoudigde methode voor het berekenen van een risico op te hoge temperaturen (NTA8800, 5.7.1). Deze berekening hoeft alleen te worden uitgevoerd in zones zonder actief koelsysteem.

Impact: Een bijkomstigheid van ventilatie via het EWF-concept is dat de ventilatielucht gekoeld wordt. Door dit bijkomende effect van koeling voldoet het EWF-concept vanzelf aan deze eis zonder dat er een apart koelsysteem aangebracht moet worden.

4.2.2

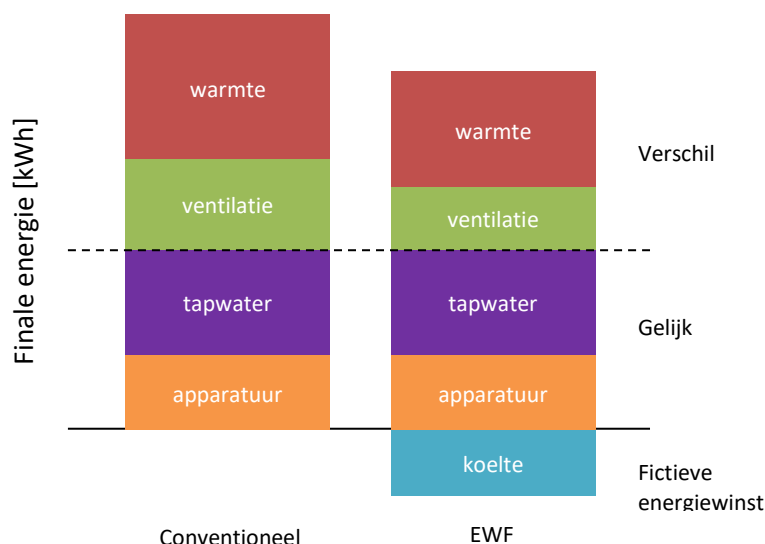
Theorie dynamisch energiemodel

Binnen het totale energieverbruik moet onderscheid gemaakt worden tussen warmtebehoefte en finaal energiegebruik. De warmtebehoefte betreft de behoefte aan thermische energie (warmte of koelte) in de ruimte zelf. De finale energie betreft de energie die nodig is om te voorzien in die warmtebehoefte en overige behoeftes van de ruimte (licht, ventilatie, tapwater).

De warmtebehoefte is per definitie gelijk voor variant B en variant C. Immers, de twee varianten verschillen niet wat betreft isolatiewaardes, zontoetreding, warmtelast en andere aspecten die de warmtebehoefte beïnvloeden.

Het verschil in finale energie is er wel. Immers, variant C heeft een ander ventilatiesysteem met een andere efficiëntie. Daarnaast is in variant C de mogelijkheid tot warmteterugwinning en energieopwekking in de zonneshoofsteen. Tevens wordt er verwarmd middels het water van 13°C in de klimaatcascade. Dit maakt het mogelijk om efficiënter warmte op te wekken.

Zaken die niet gerelateerd zijn aan warmte of ventilatie, te weten tapwater en apparatuur, worden niet beïnvloed door het EWF-concept. Koeling is er niet in het conventionele concept (variant B), maar is er wel inherent in het EWF-concept (variant C). Deze wordt dus als fictieve energiewinst gezien (negatief). Zodoende zal het verschil in resultaten er als volgt uit zien:



Figuur 10 - conceptueel staafdiagram finale energie

4.3

Technisch ontwerp referentieproject en variant B (conventioneel)

De verschillen tussen het referentieproject en variant B zijn significant. Deze verschillen zijn uitvoerig beschreven in hoofdstuk 3, maar hieronder worden voor de volledigheid de belangrijkste verschillen ten aanzien van de BENG-berekening nog even omschreven.

	Input						
	Gebouw-begrenzing	Transmissie	Infiltratie	Verwarming	Tapwater	Koeling	Ventilatie
Ref	conform ontwerp	6,0/4,5/3,5	0,42	ESCo	ESCo	geen	C1, CO2 afvoer
B	idem	6,3/4,7/3,7	idem	WKO, WW WP	Collectieve boosters	idem	idem

De EPC-berekeningen zijn te vinden in Appendix B. Voor de berekeningen met de BENG validatietool zijn exact dezelfde invoerwaardes gebruikt.

4.4 Technisch ontwerp variant C (EWF)

Hieronder worden de twee belangrijkste aspecten van het EWF-systeem toegelicht, namelijk de klimaatcascade en de zonneshoorsteen.

4.4.1 Klimaatcascade

De klimaatcascade als ontwerpelement is reeds beschreven in hoofdstuk 3. Hieronder wordt enkele technische aspecten en uitgangspunten omschreven.

Toevoer	
Luchtsnelheid	3,0 m/s
Hoogte	13,4 m
Oppervlak	1,1x1,1 m ²
Maximaal debiet (88 appartementen a 150 m ³ /h)	13200 m ³ /h
Ventilatiesysteem	
Maximale drukval	200 Pa
Ventilator rendement	70 %
Sproeipomp	
Maximale stroom	2,0 kg/s
Drukval	190 kPa
Pomp rendement	75 %

Koeling en opwarming van de lucht

In het koelseizoen wordt de lucht in de klimaatcascade gekoeld tot 17,5°C. Door een opwarming van 1°C tijdens distributie resulteert dit in een inblaastemperatuur van ongeveer 18,5°C. De koeling vindt plaats op basis van de koudere waterdruppels.

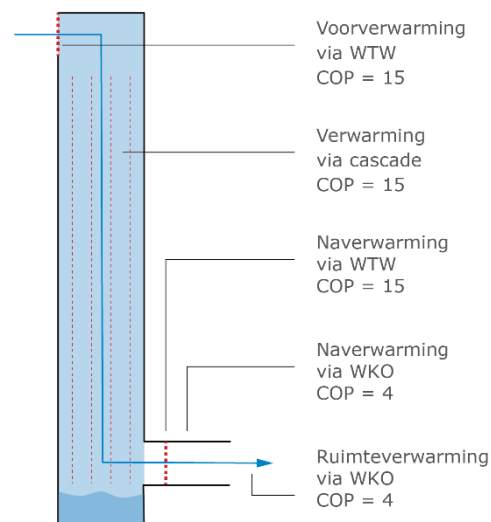
In het verwarmingsseizoen wordt de lucht in meer of mindere mate verwarmd door de cascade. De opwarming van de lucht geschiedt op vijf wijzen, met wisselende efficiëntie. Dit is schematisch weergegeven in figuur 11.

Bij $T_{\text{buiten}} < 3^{\circ}\text{C}$ wordt de lucht voorverwarmd tot 3°C alvorens deze de cascade ingaat, om bevriezing te voorkomen. Deze verwarming wordt volledig verwezenlijkt door de WTW die gekoppeld is aan de zonneshoorsteen, door het hoge temperatuurverschil (altijd geldt $\Delta T > 17^{\circ}\text{C}$, omdat $T_{\text{zonneshoorsteen}} > 20^{\circ}\text{C}$). Zie ook volgende kop. Vervolgens warmt de lucht gedeeltelijk op in de cascade door het temperatuurverschil tussen de waterdruppels (13°C) en de lucht.

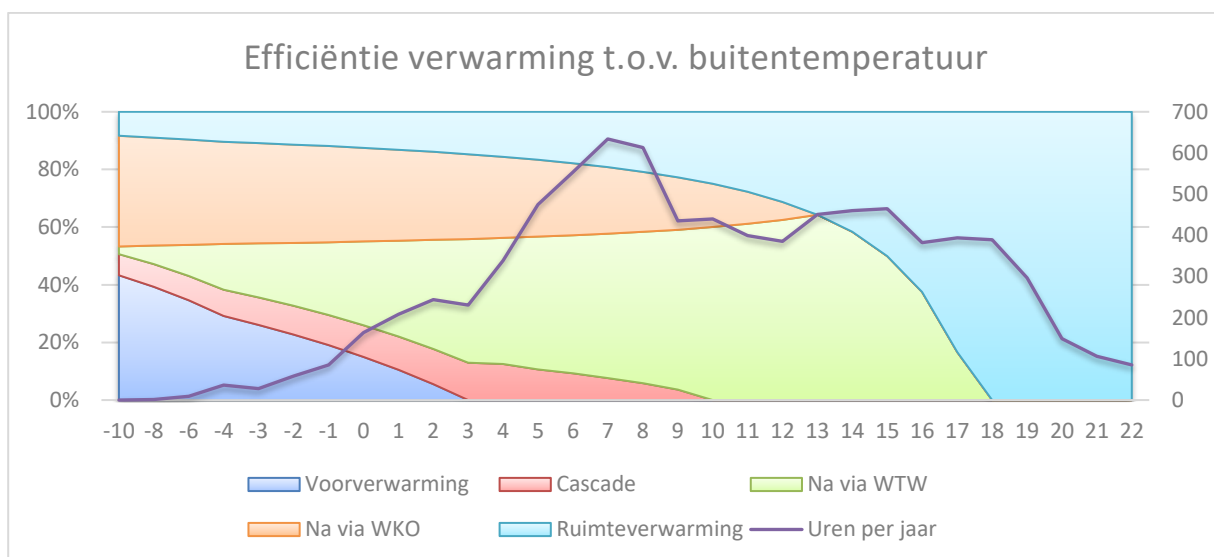
De lucht wordt altijd naverwarmd tot 17,5°C middels een verwarmings-element aan het eind van de klimaat-cascade dat gekoppeld is aan de WTW en de WKO.

Tot slot wordt er naar behoeven van de inwoners nog naverwarmd in de woonruimte zelf middels vloer-verwarming die ook gekoppeld is aan de WKO.

De energiewinst voor EWF zit in de warmteterugwin-unit die direct gekoppeld is aan de luchtverwarming, en de lagere temperatuur van het waterreservoir. In de berekening is deze winst vertaald in de vorm van verhoogde COP's van de verwarming van lucht, afhankelijk van de buitentemperatuur. Figuur 12 laat de verdeling van COP's tegenover de buitentemperatuur zien.



Figuur 11 - koeling en opwarming van de lucht in de klimaatcascade



Figuur 12 - grafiek met verdeling van COP's tegenover de buitentemperatuur

Warmte koude opslag

In het systeem is een WKO aanwezig. Deze WKO koelt het sproeiwater in de zomer. De warmte wordt gebruikt voor de waterverwarming van het waterreservoir, de naverwarming, het vloerverwarmingsysteem en tapwater.

Logischerwijs is de jaarlijkse warmtevraag in een woongebouw in Nederland hoger dan de koeltevraag. Dit verschil wordt gecompenseerd door de resterende warmte uit de WTW van de zonneshoorsteen (i.e. alle warmte die niet direct door de ventilatie gebruikt wordt). Aanvullend worden zonnecollectoren op het gebouw geplaatst om in de balans van de WKO te voorzien. Om de WKO te balanceren is in variant B ongeveer 250m² zonnecollector nodig. Bij toepassing van het EWF concept kan deze hoeveelheid met 25% naar beneden (=187,5m²), als gevolg van de warmteterugwinning uit de zonneshoorsteen.

4.4.2 Zonneschoorsteen

De zonneschoorsteen als ontwerpelement is reeds beschreven in hoofdstuk 3. Hieronder wordt enkele technische aspecten en uitgangspunten omschreven.

Afvoer	
Luchtsnelheid	1,5 m/s
Hoogte	13,4 m
Oppervlak	3,8x0,65 m ²
Maximaal debiet	13200 m ³ /h
Ventilatiesysteem	
Maximale drukval	200 Pa
Ventilator rendement	70 %

Maatvoering

De snelheid in de schoorsteen is zo laag mogelijk om de warmteterugwinning te maximaliseren en drukverliezen te voorkomen, en zodoende bepaald op 1,5 m/s. De diepte is 0,65m om schoonmaak mogelijk te maken, hetgeen resulteert in een breedte van 3,8m.

Materialisering

Een zonneschoorsteen wordt ontworpen voor het afvangen van zoveel mogelijk warmte, en het zoveel mogelijk beperken van warmteverliezen aan de omgeving. Daarom is gekozen voor:

- Een lage U-waarde, voor beperking van warmtetransmissie
- Een hoge g-waarde, voor maximale transmissie van zoninstraling
- Een goed absorberende achterwand

PV

De schoorsteen leent zicht voor het plaatsen van PV panelen waarmee elektriciteit kan worden opgewekt. Het rendement van de panelen neemt met ongeveer 40% af door de glazen wanden van de zonneschoorsteen (Bronsema, Quist, Aanen, & Meerstadt, 2018).

Het plaatsen van PV panelen in de schoorsteen is dus minder effectief dan het plaatsen van zonne-energie op het dak. In deze studie is daarom geen PV in de schoorsteen toegepast. Bij hogere gebouwen is de mogelijkheid tot PV in de schoorsteen juist een kans, daar het met strengere eisen steeds lastiger wordt om voldoende zonne-energie opwekking op het dak te plaatsen.

Warmteterugwinning

Er is een warmteterugwin-unit geplaatst bovenin de schoorsteen. Deze warmte uit de WTW wordt gebruikt voor de verwarming van lucht (bij $T_{\text{buiten}} < 17,5^{\circ}\text{C}$), middels een koppeling naar de klimaatcascade. Als $T_{\text{buiten}} > 17,5^{\circ}\text{C}$ is er geen behoefte aan verwarming van de toevoerlucht, en wordt de warmte uit de WTW gebruikt voor verwarming van tapwater en het balanceren van de WKO. Een belangrijke randvoorwaarde bij het plaatsen van de WTW is dat het drukverlies in het natuurlijke ventilatiesysteem zoveel mogelijk moet worden beperkt. Er moet dus bij de WTW een balans worden gezocht tussen luchtsnelheid, temperatuurverschil en warmteoverdrachtsoppervlakte.

4.5

Resultaten BENG vergelijk

Het referentieproject en variant B zijn beide berekend op basis van de BENG-indicatoren van de NEN7120, en met de voorlopige BENG-validatietool. De resultaten zijn onderstaand weergegeven.

	RESULTATEN					
	BENG-1		BENG-2		BENG-3	
	volgens NEN7120*	BENG validatietool	volgens NEN7120*	BENG validatietool	volgens NEN7120*	BENG validatietool
	<65 kWh/m2		<50 kWh/m2		>40%	
Ref	41,6	50,2	39,4	30,1	54%	55%
B	41,3	49,8	30,2	39,3	61%	56%

**de berekening van de BENG-indicatoren volgens NEN7120 is puur ter indicatie en geven geen eerlijke representatie van de werkelijke prestaties op de BENG-eisen. De enige reden dat deze getoond worden is voor de volledigheid en reproduceerbaarheid van het onderzoek.*

Uit deze resultaten wordt geconcludeerd dat het referentieproject reeds ruim voldeed aan de BENG-eisen. Variant B is in alle gevallen iets beter dan het referentieproject. De enige uitzondering hierop is BENG-2 volgens de validatietool, waar het verschil wordt verklaart door andere primaire-energiefactoren. Tevens wordt geconcludeerd dat de BENG validatietool berekening resulteert in iets slechtere waarden.

4.6

Resultaten energiestudie

4.6.1

Methode energiestudie

Warmtebehoefte middels dynamisch energiemodel

- Variant B is gemodelleerd in een dynamisch energiemodel, in de software IES VE 2019. Hierin zijn de gebouw eigenschappen (e.g. isolatiewaarden, afmetingen, massa) en gebruikerseigenschappen (e.g. gebruikersprofielen) ingevoerd. Op basis hiervan is een warmte- en koelbehoefte berekend, en tevens de temperatuuroverschrijdingen.
- Het modelleren van het EWF-systeem in het IES model is niet zinnig, omwille van het conceptmatige ontwerp en de beschikbare excel rekentools. Het verkrijgen van de eindresultaten ligt dan ook in een combinatie van IES data en excel-berekeningen op basis van een export van die data.

Klimaatcascade berekeningen met EWF rekentool

- Op basis van de buitentemperatuur en een aantal parameters van de cascade wordt met de rekentool van het EWF-concept bepaald wat de opgebouwde druk in de cascade is. De rekentool baseert de opgebouwde druk op een combinatie van temperatuurverschillen, waterstroom, luchtsnelheid en nog enkele andere factoren.
- Met deze waarden is vervolgens per uur van het jaar gekeken wat de opgebouwde druk is ten opzichte van de benodigde druk, en daarmee berekend hoeveel ventilatorenergie er bespaard is.

Zonneschoorsteenberekeningen met de EWF rekentool

- De berekening van de drukopbouw in de zonneschoorsteen is gebaseerd op het luchtdebiet, het temperatuurverschil tussen binnen en buiten, en de zoninstraling in de schoorsteen.
- Per uur van het jaar wordt gekeken wat de buitentemperatuur en de zoninstraling zijn, en vervolgens bepaald hoeveel druk er wordt opgebouwd. Op basis daarvan wordt berekend hoeveel energie er wordt bespaard.

4.6.2

Resultaten energiestudie

De resultaten van de energiestudie zijn onderverdeeld in energieverbruik voor verwarming, voor ventilatie, en het totale finale energieverbruik.

Warmte- en koudebehoefte

Zoals benoemd in paragraaf 4.3 is de warmtebehoefte per definitie gelijk in beide varianten. De energiewinst is te halen in de efficiëntie van die warmteopwekking. De warmtebehoefte voor de varianten is als volgt:

	B	C	
Warmtebehoefte	434.400	434.400	kWh _{thermisch}
Koudebehoefte	0	-26.600	kWh _{thermisch}

In de tabel is een negatieve koudebehoefte te zien. In het referentieontwerp is geen koeling toegepast, echter, de EWF variant verzorgt inherent koeling. De koelwinst is daarom beschouwd als een negatieve koudebehoefte.

Energieverbruik voor warmte en koude

Het energieverbruik voor warmte is verschillend voor de varianten. Op basis van de wisselende buitentemperatuur en de afwijkende COP's is het energieverbruik bepaald voor verwarming. Voor de negatieve koelbehoefte wordt gerekend met een COP van 2.5.

	B	C	
Energie voor directe ruimteverwarming	108.600	63.500	kWh _{el}
Energie voor warmte via EWF	0	23.000	kWh _{el}
Koelenergie	0	-10.600	kWh _{el}
Totaal	108.600 100%	75.900 70%	kWh elektrisch

Ventilatie energie

De ventilatie-energie voor variant B is gebaseerd op de documentatie van de ventilatie-unit die geplaatst is in het referentieontwerp; te weten een DucoBox Comfort system. De ventilatie-energie voor EWF is een som van de theoretische ventilatorenergie op basis van debiet, drukverlies en ventilatorrendement, minus de winst die behaald wordt door de schoorsteen, de cascade en de winddruk. De energie benodigd voor het oppompen van het water wordt gerekend als energie voor het ventilatiesysteem.

Die berekening levert de volgende resultaten op:

	B	C	
Ventilatorenergie	8.770	8.470	kWh _{el}
Cascade	0	- 340	kWh _{el}
Zonneschoorsteen	0	- 160	kWh _{el}
Winddruk	0	- 500	kWh _{el}
Sproeipomp	0	+770	kWh _{el}
Totaal	8.770 100%	8.240 94%	kWh elektrisch

Overig energiestromen

De totale energievraag van een gebouw wordt, naast verwarming, koeling en ventilatie, ook beïnvloed door energie voor tapwater en apparatuur. Aangezien het EWF-concept geen invloed heeft op deze behoeftes, wordt hiervoor een aanname gedaan op basis van de EPC, die voor alle varianten gelijk is.

	B	C3
E tapwater	110.000	110.000 kWh _{el}
E apparatuur	167.000	167.000 kWh _{el}

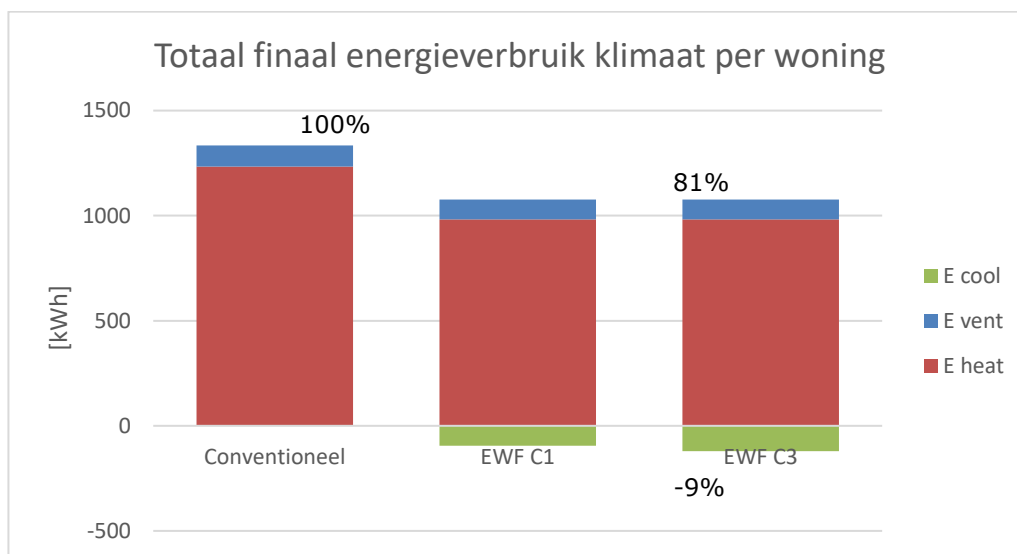
Deze energiestromen dienen puur ter indicatie en worden niet meegenomen in de vergelijking van de relatieve energiewinst van EWF.

Totale finale energievraag

Met het samenvoegen van alle voorgenoemde energieverbruiken wordt de totale finale energievraag berekend. Dit kan beschouwd worden als de energie die via de meter het huis binnenkomt, of gedeeltelijk via PV wordt opgewekt.

	B	C3
E ventilatie	8.800	8.200 kWh
E verwarming	108.600	86.500 kWh
E koeling	0	-10.600 kWh
Totaal	117.400 100%	84.100 kWh 72%

De tabel laat een totaal zien waarin de negatieve koudebehoefte is meegenomen. Voor een eerlijk vergelijk wordt deze behoefte echter niet gezien als energiewinst, omdat het referentieontwerp geen koeling toepast. Als de koelwinst niet wordt meegenomen, is het relatieve verbruik van variant C 81%. Onderstaande figuur vat de resultaten samen.



Figuur 13 - totale energieverbruik van variant B (conventioneel) en variant C (EWF)

4.7

Conclusie

Het EWF concept gebruikt voor het reguleren van het binnenklimaat in zijn geheel 19% minder energie dan het referentieontwerp. Voor één woning komt dit neer op een daling van energieverbruik van 4481 kWh naar 3630 kWh, een besparing van 851 kWh per jaar. Als de koudelevering wordt gezien als energiebesparing, is de totale energiebesparing 28%, respectievelijk 1120 kWh per jaar.

Deze energiewinst wordt voornamelijk gerealiseerd door een efficiëntere opwarming van de binnenlucht, als gevolg van het gebruik van een WTW en een WKO gekoppeld aan het waterreservoir van de klimaatcascade.

De besparing door ventilatie-energie is beperkt. Enerzijds doordat ventilatie-energie slechts een beperkt aandeel is van de totale energievraag van dit type woningen. Anderzijds doordat de beperkte hoogte van de cascade en de zonneshoorsteen weinig druk oplevert, en dus bijna geheel gecompenseerd wordt door de pompenergie die nodig is om water te pompen.

5 Comfort en gezondheid binnenklimaat

Bij de beoordeling van het comfort van het binnenklimaat van een gebouw spelen zowel kwalitatieve (niet-meetbare) als kwantitatieve (meetbare) aspecten een rol. Comfort betreft de binnentemperatuur, luchtkwaliteit en -vochtigheid, tocht en mogelijkheid tot zelf regelen. In dit onderzoek is gekeken naar het verschil tussen variant B (conventioneel) en variant C (EWF) op het gebied van kwalitatieve en kwantitatieve aspecten. Deze aspecten worden hieronder besproken.

5.1 *Aspecten van comfort en gezondheid*

De nieuwe EPBD stelt, naast eisen met betrekking tot energiezuinigheid, ook dat "De gezondheid en het welzijn van gebruikers van gebouwen zullen worden bevorderd, bijvoorbeeld door meer aandacht te besteden aan luchtkwaliteit en ventilatie". Bij toepassing van het EWF-concept wordt aan deze eis op de volgende aspecten tegemoetgekomen:

5.1.1 *Luchtkwaliteit (1)*

In stedelijke gebieden neemt de concentratie van de luchtverontreinigingen bij grotere hoogte af. Luchtvervuiling wordt hier door de thermiek van het warmte-eiland effect en door de wind verspreid en verdund. De fijnstofconcentratie neemt vrijwel evenredig met de hoogte af. Het EWF concept zuigt lucht aan op het dakniveau van een gebouw, en maakt daarmee gebruik van de verbetering van luchtkwaliteit over de hoogte.

Een tweede manier waarop het EWF systeem bijdraagt aan een verbetering van de kwaliteit van de binnenlucht is doordat in het sproeispectrum van de klimaatcascade verschillende luchtverontreinigingen en stofdeeltjes in de ventilatielucht geabsorbeerd worden. Door het lage temperatuurniveau is er geen risico op legionella. Het sproeiwater wordt gefilterd en gedesinfecteerd.

5.1.2 *Thermisch comfort (1) - Luchtvochtigheid*

Mensen beschikken niet over sensoren voor luchtvochtigheid. Behaaglijkheid is echter meer dan thermisch comfort. NEN-ISO 7730 stelt in Annex D:

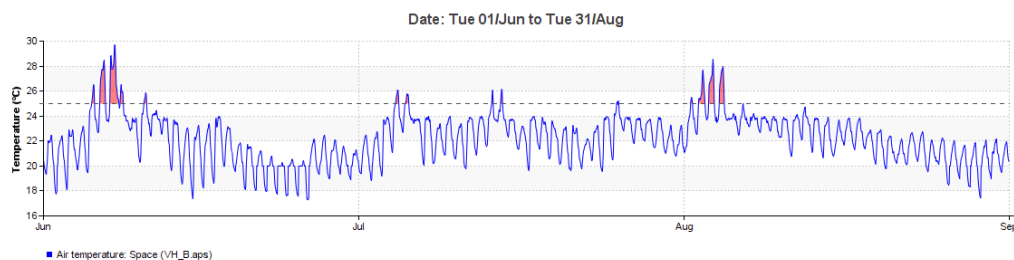
"Het wordt aanbevolen om de relatieve luchtvochtigheid (RV) tussen 30% en 70% te houden. Deze limieten zijn vastgesteld om het risico op onaangename natte of droge huid, oogirritatie, statische elektriciteit, microbiële groei en aandoeningen van de luchtwegen te verminderen". In woongebouwen wordt normaliter niet aan deze eisen voldaan met als gevolg een te lage relatieve vochtigheid (RV) in het stookseizoen en een te hoge RV in de zomer. Bij toepassing van het EWF-concept wordt inherent bijna altijd aan de aanbevolen waarden van de RV voldaan.

5.1.3 *Thermisch comfort (2) – Oververhitting*

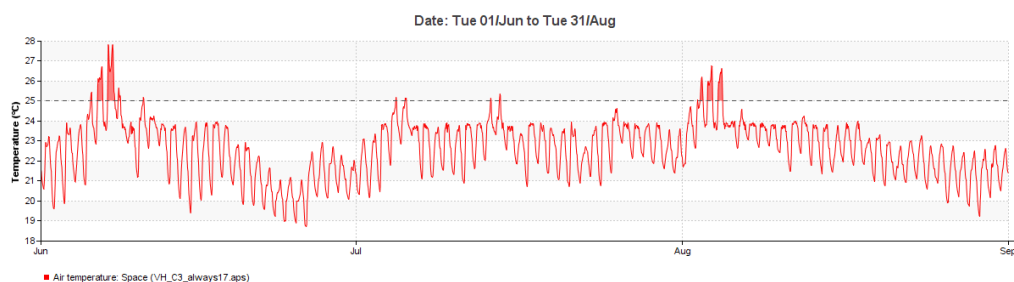
Energiezuinigheid van gebouwen mag niet ten koste gaan van de binnenklimaat-condities. Bij veel moderne gebouwen is oververhitting in de zomer een probleem, als gevolg van hoge isolatiewaardes die zijn geïmplementeerd om aan energie-zuinigheidseisen te voldoen. Voor woningen is vooral de kwaliteit van de nachtrust van belang, waarvoor vooralsnog geen wettelijke criteria gelden. Bij het EWF-concept wordt via de ventilatielucht koeling geleverd. De koelcapaciteit is beschreven in hoofdstuk 4, en komt neer op 10.600 kWh voor het gehele gebouw.

Het EWF-concept anticipeert daarmee ook op klimaatverandering met warmere zomers, frequentere hittegolven en het warmte-eiland effect. Dit laatste is het verschijnsel dat de temperatuur in een stedelijk gebied gemiddeld hoger is dan in het omliggende landelijk gebied. Dit effect kan oplopen tot 4-8°C.

Met behulp van het dynamische rekenmodel IES is een simulatie gemaakt van de temperatuur over het jaar. Onderstaande grafieken geven het verloop van de binnentemperatuur aan tijdens de warmste maanden van het jaar (juni, juli en augustus). De roodgekleurde vlakjes zijn de uren waarop de temperatuur boven de comfort-grens van 25°C komt.



Figuur 14 – grafiek verloop binnentemperatuur variant B (conventioneel)



Figuur 15 - grafiek verloop binnentemperatuur variant C (EWF)

De resultaten van het dynamische energiemodel laten de maximaal bereikte binnentemperatuur zien, en het aantal uren van temperatuuroverschrijding. Onderstaande tabel laat zien dat in het geval van EWF het aantal overschrijdingsuren met 37% afneemt. Ook de maximaal bereikte temperatuur neemt af met 2 graden Celsius.

	Conventioneel	EWF C3
Comfort		
N uur waarin $T_{in} > 25^{\circ}\text{C}$	127	79
Max T_{in}	29,7 °C	27,8 °C

5.1.4 Tochtvrij ventileren

De ventilatielucht wordt met een temperatuur van ongeveer 18°C toegevoerd. Ventilatioeroosters in de gevel zijn daardoor overbodig, waarmee de kans op tochtproblemen door koude toevoerlucht uit de roosters wordt vermeden.

5.1.5 Nachtrust

In flatwoningen is het soms niet mogelijk 's nachts ramen in de slaapkamer te openen in verband met stadslawaai en/of inbraakrisico's. Bij het EWF-concept kunnen de ramen desgewenst worden geopend. Ramen gaan echter alleen open als de bewoner hier uit psychologische overwegingen of anderszins behoefte aan heeft. Natuurlijke ventilatie van hoogbouw in een urbane omgeving wordt hierdoor mogelijk zonder door het stadsverkeer of de luchtvaart veroorzaakte geluidsproblemen.

5.2 Conclusie

EWF beïnvloedt het comfort door de andere wijze van luchttoevoer en -afvoer. Toepassing van het EWF-systeem leidt tot een hoger comfort dan toepassing van een conventioneel klimaatsysteem op verschillen, deels niet-meetbare, aspecten. Met toepassing van EWF neemt het aantal uren waarbij $T_{in} > 25^{\circ}\text{C}$ af met 37% en is de maximale binnentemperatuur die in een jaar bereikt wordt 2 graden Celsius lager dan bij een conventioneel systeem. Verder is bij toepassing van het EWF-systeem de luchttoevoer in de winter aangenamer door een hogere temperatuur en in de zomer aangenamer door een lagere temperatuur. Ook voorkomt de lucht-toevoerlocatie (i.e. niet in gevel) tochtklachten in de woningen. Tot slot worden de woningen bij toepassing van het EWF-systeem 's zomers gekoeld via de ventilatielucht, hetgeen resulteert in minder geluidsoverlast.

6 Kosten

6.1 Bouwkosten

Om te kunnen bepalen wat de invloed van het EWF-systeem is op de bouwkosten is conform de NEN2699 een bouwkostenraming gemaakt voor zowel variant B (conventioneel) als variant C (EWF). Zoals ook hieronder in tabel 2 te zien is komt de kostenraming voor variant B op 10.729.000,-- euro en voor variant C op 10.889.000,-- euro. Beide kostenramingen zijn toegevoegd in Bijlage 2.

Analyse

Variant B

- totale kosten voor gehele gebouw	€ 10.729.000	Totaal bouwkosten (excl. btw)
- totale kosten / m2 gebouw	€ 1.624	/ m2 BVO
- directe kosten voor alleen het klimaatsysteem (conventioneel)	€ 1.460.108	Directe bouwkosten (B2B)

Variant C (EWF)

- totale kosten voor gehele gebouw	€ 10.889.000	Variant B
- totale kosten / m2 gebouw	€ 1.648	/ m2 BVO
- directekosten voor alleen het klimaatsysteem (EWF)	€ 1.526.567	Directe bouwkosten (B2B)

Tabel 2 - overzicht kosten variant B (conventioneel) en variant C (EWF)

De volgende kosten gerelateerde onderdelen zijn bepaald aan de hand van elementregels in de raming om inzicht te krijgen in de verdeling per onderdeel:

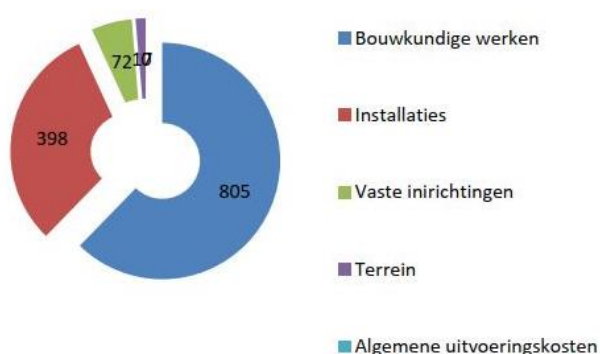
- Kosten voor de bouw van de zonnescascade;
- Kosten voor de distributie van de luchtbehandelingskanalen;
- Kosten ten gevolge van overige bouwkundige onderdelen.

Het resultaat van de raming is een totale meerkosten van € 159.159,-- hetgeen een toeslag betekend van 1,46%. In onderstaande tabel en cirkeldiagram is aangegeven hoe deze meerkosten verdeeld zijn over de bovengenoemde onderdelen.

Samenvatting kostenraming conform NEN2699

B1	Bouwkundige werken	€ 5.316.411	805 /m²bvo	49%
B2	Installaties	€ 2.632.072	398 /m²bvo	24%
B3	Vaste inrichtingen	€ 475.200	72 /m²bvo	4%
B4	Terrein	€ 110.617	17 /m²bvo	1%
B5	Algemene uitvoeringskosten	€ 2.354.701	+	22%
Totaal bouwkosten (excl. btw)		<u>€ 10.889.000</u>	1.648 /m²bvo	

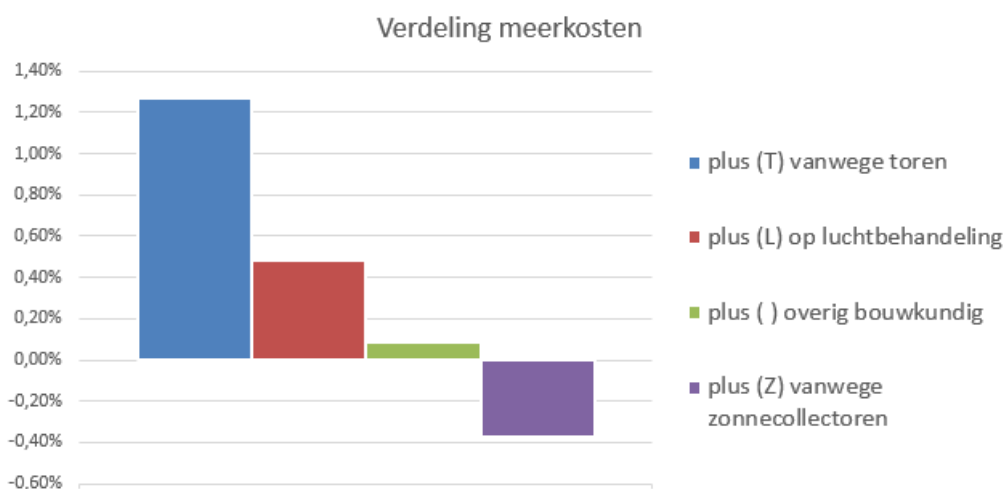
Tabel 3 - overzicht kostenverdeling variant C (EWF)



Figuur 16 - cirkeldiagram kostenverdeling variant C (EWF)

De effecten in bedragen zijn als volgt:

Kosten Omschrijving	Kosten / n	Procentueel
€ 138.075 plus (T) vanwege toren	€ 20,90	1,27%
€ 52.898 plus (L) op luchtbehandeling	€ 8,01	0,49%
€ 9.018 plus () overig bouwkundig	€ 1,36	0,08%
-€ 40.832 plus (Z) vanwege zonnecollectoren	-€ 6,18	-0,38%
€ 159.159	€ 24,09	1,46%



Zonneschoorsteen en klimaatcascade

De meerkosten van de zonneschoorsteen en de klimaatcascade zit in de kosten voor de bouwkundige schachten. De schacht van de cascade is uitgevoerd in beton en de schacht van de zonneschoorsteen is voorzien van glas aan drie zijden. Onder de cascade is een wateropvang gerekend met een pompinstallatie. Verder zijn de zonneschoorsteen en klimaatcascade beide aan de bovenzijde voorzien van een bouwkundige afdekkap. In de schachten zijn inspectieluiken meegerekend.

6.2

Exploitatie

Voor de exploitatie is géén raming gemaakt. Wel kunnen we stellen dat er voor variant C vergeleken variant B minder componenten gemonteerd en onderhouden moeten worden vanwege de centrale uitvoering van het EWF-systeem. Ook de reductie van de energielasten zullen een positief effect hebben op de totale exploitatiekosten.

6.3

Conclusie

Bij variant C (EWF) zijn de bouwkosten met 1,46% toegenomen t.o.v. variant B (conventioneel). Deze toename van de bouwkosten komt voornamelijk door de kosten voor de bouw van de zonneshoorsteen en klimaatcascade (bouwkundige werken). We kunnen stellen dat dit een stijging van 1,46% een zeer beperkte meerkosten is, zeker wanneer in gedachte wordt gehouden dat in dit stadium van de raming nog een nader te detailleren marge zit van 3%. Wanneer bij aanvang van een project gekozen wordt voor het EWF-systeem kan een optimalisatie van de kosten bereikt worden door verdere integratie van het systeem.

7 Milieu impact

7.1 Inleiding

Naast de energieprestatie en comfort, is de uitstoot van broeikasgassen een belangrijke maatstaaf voor de milieuprestatie van een gebouw. Dit hoofdstuk beschrijft een vergelijking tussen de impact op het milieu van beide varianten. De milieu-impact wordt bepaald door een inschatting van emissies CO₂-equivalent, door enerzijds de emissies van alle toegepaste materialen, en anderzijds de emissies als gevolg van energiegebruik.

De emissies worden gemeten aan de hand van de CO₂-equivalent. Dit is een meeteenheid voor het opwarmend vermogen van een verzameling van verschillende broeikasgassen, waaronder Waterdamp (H₂O), Koolstofdioxide (CO₂) en Methaan (CH₄).

Dit hoofdstuk gaat eerst in op de milieu-impact als gevolg van materiaalgebruik en vervolgens op de milieu-impact als gevolg van energiegebruik. De conclusie omschrijft de kwantitatieve vergelijking van variant B en C.

7.2 Milieu-impact ten gevolge van materiaalgebruik

7.2.1 MilieuPrestatie Gebouwen

De milieu-impact van alle materialen in een gebouw wordt uitgedrukt in MPG: de MilieuPrestatie Gebouwen. De MPG geeft aan wat de milieubelasting is van de materialen die in een gebouw worden toegepast. Deze maatstaaf is bij elke aanvraag van een omgevingsvergunning voor nieuwbouwwoningen en nieuwe kantoor-gebouwen verplicht. De MPG wordt uitgedrukt in schaduwkosten. Dit zijn de kosten om de schade aan het milieu ongedaan te maken in euro per vierkante meter BVO (Bruto Vloeroppervlakte) per jaar. Sinds 1 januari 2018 geldt voor de MPG een maximum grenswaarde van €1,00 per m² BVO per jaar. De berekening komt voort uit de Life Cycle Analysis (LCA) van alle materialen in het gebouw. De LCA bestaat uit een uitgebreide analyse van de gehele levenscyclus van materialen, vanaf de winning tot en met het eindscenario/afvalverwerking, ook bijvoorbeeld transport en onderhoud is in de LCA meegenomen. In de MPG wordt daarnaast ook rekening gehouden met benodigde vervanging van het materiaal tijdens de gebruiksfase. Naast de eerder besproken emissies of CO₂-equivalent, wordt ook uitputting van abiotische grondstoffen en fossiele energiedragers meegenomen in de MPG berekening. Rekenregels volgens de bepalingmethode milieuprestatie gebouw en GGW-werk staan vermeld in EN158978.

7.2.2 Resultaten

Voor de omgevingsvergunning van het referentieproject Eenhoorn is een MPG berekening gemaakt met MPGcalc. Deze is als basis gebruikt en aangepast naar de benodigde maatregelen voor variant B. Voor woningbouw is de standaard levensduur van 75 jaar aangehouden. De onderstaande tabel geeft de uitkomsten voor variant B weer. De totale schaduwkosten 'emissies' en de uitstoot CO₂-equivalent zijn het meest sprekend.

	schaduwkosten	milieu-effecten	
Emissies (som onderstaande)	€ 346.907		
Klimaatverandering (sk)	€ 150.594	3.011.880,2	kg CO2 eq.
Aantasting ozonlaag (sk)	€ 6	0,1840	kg CFC-11 eq.
Humane toxiciteit (sk)	€ 103.048	1.144.982,5	kg 1.4-DB eq.
Zoetwater aquatische ecotoxiciteit (sk)	€ 902	30.052,8	kg 1.4-DB eq.
Mariene aquatische ecotoxiciteit (sk)	€ 12.928	129.275.638,8	kg 1.4-DB eq.
Terrestrische ecotoxiciteit (sk)	€ 1.184	19.731,4	kg 1.4-DB eq.
Fotochemische oxidantvorming (sk)	€ 3.233	1616,3	kg C2H4 eq.
Verzuring (sk)	€ 50.336	12.584,1	kg SO2 eq.

Vermesting (sk)	€ 24.678	2.742	kg PO4 eq.
Uitputting (som onderstaande)	€ 2.560		
Uitputting abiotische grondstoffen* (sk)	€ 11	67	kg Sb eq.
Uitputting fossiele energiedragers (sk)	€ 2.549	15.932,8	kg Sb eq.
Biotische grondstoffen	€ 0,00	0,0	**

Tabel 4 - Milieu-effecten variant B (berekening MPG calc)

Deze aanpassingen ten behoeve van BENG betreffen de toepassing van extra isolatiemateriaal, een warmtepomp en zonnecollectoren. Installaties hebben een grote invloed op de MPG door de combinatie van materialen, het productieproces en de benodigde vervanging na omstreeks 20 jaar. Tabel 5 laat de invloed op de milieu-impact zien van zonnecollectoren en PV-panelen. De toepassing van zonnecollectoren en PV panelen hebben samen een aandeel van 22,5% van de totale schaduwkosten voor variant B.

toepassing	schaduwkosten	CO ₂ -equivalent
250 m ² zonnecollectoren	0,022 €/m ² /jaar	51.161,73 kg
643,5 m ² PV-panelen	0,126 €/m ² /jaar	427.735,74 kg
VLA ventilatiesysteem [per m ² GBO]	0,0044 €/m ² /jaar	15.901,24 kg
totaal	0,152 €/m ² /jaar	478.897,5 kg
% van de schaduwkosten	22,5%	16,87%

Tabel 5 - Installaties met een grote milieu-impact (variant B)

Voor variant C (EWF) is ten opzichte van variant B extra materiaal nodig voor het realiseren van de klimaatcascade en de zonneshoorsteen. Echter hebben de materialen zoals glas, beton, aluminium en sproeiers een lage milieu-impact ten opzichte van de installaties. Voor de hoeveelheden van de benodigde materialen is een aanname gedaan op basis van de grootte van de klimaatcascade en zonneshoorsteen.

Tabel 6 vergelijkt de uitkomsten van de varianten. Het is duidelijk dat de toepassing van een EWF-systeem vrij beperkt invloed heeft op het resultaat. Het verschil in schaduwkosten tussen B en C is minimaal. Alleen het reduceren van de hoeveelheid zonnecollectoren met 25% als gevolg van de WTW-unit in de zonneshoorsteen van de EWF-variant, zorgt voor 1,3% reductie in schaduwkosten en 2,35% reductie in kg CO₂-equivalent. Dit compenseert het extra benodigde materiaal voor de zonneshoorsteen en klimaatcascade in variant C.

vergelijking varianten	schaduwkosten [€/m ² per jaar]	schaduwkosten Δ tov variant A	kg CO ₂ -eq.	kg CO ₂ -eq. Δ tov variant A
variant B	€ 0,6997	100%	2.992.354	100%
variant C	€ 0,7012	100,22%	3.002.237,6	100,33%

Tabel 6 - vergelijking milieu-impact materiaal t.o.v. het referentieproject

7.3

Milieu-impact ten gevolge van energiegebruik

De milieu-impact ten gevolge van energiegebruik is berekend voor variant B en C resulterend in de CO₂-equivalent emissies. De energiestudie uit hoofdstuk 4 vormt de basis voor deze vergelijking. Naast de hoeveelheid gebruikte energie, is de CO₂ uitstoot afhankelijk van de energiebron. Duurzame energie heeft bijvoorbeeld een veel lagere emissiefactor dan aardgas.

Voor deze berekening zijn de emissiefactoren (EF) benaderd aan de hand van verschillende bronnen (waaronder www.co2emissiefactoren.nl). Voor energie afkomstig van externe bronnen is een aanname gedaan voor de emissiefactor omdat de energiebron onbekend is. Tabel 7 vergelijkt de CO₂-equivalent op basis van de benodigde energie per variant.

bron	EF	variant B		variant C	
		kWh	CO ₂ -eq.	kWh	CO ₂ -eq.
Q totaal	-	434.000	-	407.400	-
Q WKO	0,0045	434.000	1.953 kg	407.400	1.832 kg
E totaal	-	117.370	-	84.170	-
E PVs	0,032	27.444	878 kg	27.444	878 kg
E externe stroom	0,413	89.956	37.152 kg	56.356	23.275 kg
totaal CO₂-eq.		39.971 kg		26.139 kg	
% t.o.v. variant B		100%		65,4%	

Tabel 7 - CO₂-equivalent door energiegebruik varianten B en C

De warmtevraag (Q totaal) is 6% lager voor variant C ten op zichte van variant B. De energiebron en dus de emissiefactor is voor beide varianten gelijk, waardoor de bijkomende emissies (CO₂-eq.) dus ook 6% lager zijn voor variant C. De benodigde energie voor ventilatie, koeling en verwarmen gaat omlaag van 117.370 kWh voor variant B naar 84.170 kWh voor variant C. Deze energie is deels afkomstig van lokale PV panelen en deels van externe energie. PV panelen hebben een veel lagere emissiefactor dan de inkoop van externe stroom. Het gebruik van meer zonnepanelen zou dus een positieve invloed hebben op de hoeveelheid emissies door energiegebruik. Het aantal PV panelen blijft echter gelijk.

Door een reductie in energiebehoefte voor variant C, wordt er 37% minder externe stroom ingekocht. Het totale verschil in warmte- en energiebehoefte leidt tot een reductie in CO₂-eq. emissies van 35%.

7.4

Conclusie

In dit hoofdstuk is de milieu-impact van variant B en C bepaald op basis van emissies door enerzijds materiaalgebruik en anderzijds de energiebehoefte.

Wat betreft materialen, laat de schaduwkostenvergelijking zien dat het toepassen van het EWF-systeem qua milieu-impact nauwelijks verschil maakt (0,2%) ten opzichte van de conventionele variant. De benodigde bouwkundige aanvullingen zijn klein ten opzichte van de totale impact van het gebouw, doordat er relatief weinig extra materiaal nodig is.

De impact van installaties, waaronder zonnecollectoren en PV panelen, hebben een relatief grote invloed op de totale schaduwkosten. Indien het mogelijk is de hoeveelheid van deze installaties verder te reduceren, zal dit een grotere, positieve impact hebben op de schaduwkosten.

Het is mogelijk om meer circulaire materialen in te zetten voor de klimaatcascade en zonneshoorsteen, zoals meer betongranulaat, gerecycled aluminium en biobased isolatiemateriaal, hetgeen een positief effect zou hebben op de milieu-impact. Het verschil zal echter beperkt blijven.

De reductie in emissies door de energie- en warmte behoefte is bijna evenredig aan de energiestudie uit hoofdstuk 4. Dit komt doordat het aandeel van de gebruikte energiebronnen vrijwel gelijk blijft voor beide varianten. Wat dat betreft zou het gebruik van meer lokale duurzame energie een positief effect hebben op de hoeveelheid emissies.

Het gebruik van lokale duurzame energie en de bijkomende milieu-impact door materiaal is dus tegenstrijdig. De impact door energiegebruik gaat namelijk omlaag, maar de impact op de schaduwkosten gaat omhoog. Omgerekend is de milieu-impact van materialen met een standaard levensduur van 75 jaar bijna 40.000 kg CO₂-eq. per jaar ten opzichte van ±140.000 tot 155.000 kg CO₂-eq. per jaar door energiebehoefte. Het reduceren van de energiebehoefte heeft een grotere invloed op de totale emissies.

8 Implementatie en economische kansen

8.1 *Inleiding*

Dit hoofdstuk omschrijft de kansen voor succesvolle implementatie van het EWF-concept in gestapelde woningbouw. Waar de vorige hoofdstukken zich richtten op technische aspecten en de meerwaarde als het nieuwe ontwerp daadwerkelijk gebouwd is, richt dit hoofdstuk zich op de haalbaarheid en barrières voor het implementeren van dit concept in de (toekomstige) vastgoedportefeuille van onder andere woningcorporaties, waaronder meer specifiek Ymere.

Ymere is een van de partners van dit onderzoek, en de ervaringen van het bedrijf als woningcorporatie zijn een leidraad voor het beantwoorden van de deelvraag over barrières en kansen voor implementatie. De kansen en belemmeringen zijn opgesteld naar aanleiding van een uitvoerige brainstorm in Hotel Breeze met de projectteams van Bronsema Consult, ABT en Ymere.

Het hoofdstuk begint met een korte omschrijving van de woningcorporatie Ymere en haar visie en belangen. Vervolgens worden respectievelijk de kansen en belemmeringen beschreven. Het hoofdstuk eindigt met de vervolgstappen voor implementatie en de economische kansen.

8.2 *Woningcorporatie Ymere*

Ymere is een woningcorporatie uit Amsterdam. De corporatie heeft een grote vastgoedportefeuille van circa 70.000 huurwoningen. Om in te spelen op het woningtekort in Nederland heeft Ymere op dit moment als voornaamste ambitie om op korte termijn zo veel mogelijk nieuwe extra woningen te bouwen. Hierbij hecht Ymere veel waarde aan het gebruiksgemak van de bewoners. Enerzijds omdat dit een prettige woonomgeving levert voor hun huurders, anderzijds omdat dit klachten en storingen voorkomt.

De corporatie heeft verklaard bij te willen dragen aan innovatie ter verduurzaming van de bouwsector. Echter, door de sterke ambitie om de voorraad te laten groeien, kent Ymere een beleid waarbij risico's zoveel mogelijk worden uitgesloten, waardoor de toepassing van een nieuwe innovatieve oplossing (die nog weinig in de praktijk is geïmplementeerd) bemoeilijkt wordt.

Bij de ontwikkelprojecten van Ymere wordt er vaak gewerkt met een Functioneel Programma van Eisen. Daarin worden geen eisen gesteld aan de toe te passen installaties, maar wordt er wel een voorstel opgenomen voor een energieconcept. Dit energieconcept wordt vervolgens overgedragen aan een ESCo (Energy Service Company). Deze ESCo neemt dan de verantwoordelijkheid op zich om voor het betreffende object een goed werkend energiesysteem en binnenklimaat te bewerkstelligen. Door deze constructie ligt bijna het volledige risico voor het functioneren van de installaties bij de ESCo, en mitigeert de corporatie haar risico.

Ymere geeft de voorkeur aan collectieve systemen in plaats van individuele installaties. Een belangrijke reden hiervoor is oppervlakte besparing. Woningen die Ymere bouwt zijn vaak klein (e.g. 35m²), waarbij het niet gewenst is om oppervlakte te reserveren voor individuele installaties. Daarnaast is het met betrekking tot onderhoud theoretisch gezien ook efficiënter om voor collectief te kiezen.

8.3 *Kansen*

Het EWF-concept kent een aantal kansen met betrekking tot implementatie en exploitatie (dus nog los van de onderwerpen besproken in eerdere hoofdstukken).

Uit de gemaakte kostenberekeningen (zie H.6 van dit rapport) blijkt dat de totale bouwkosten van Variant C (EWF) ten opzichte van Variant B (conventioneel) toenemen met 1,46%. Voor een corporatie zijn kosten een belangrijke factor, maar een kostenverhoging van 1 a 2% lijkt geen bepalende belemmering te zijn om het EWF principe toe te passen. Het EWF-concept kent enkele financiële voordelen (e.g. verminderd onderhoud, beperkte vervanging van installaties) over zijn levensduur ten opzichte van een conventioneel concept, hetgeen juist een motivatie zou kunnen zijn om het concept toe te passen.

Het verminderen van klachten door bewoners is ook een kans van het EWF concept. De woningcorporatie is veel tijd en geld kwijt aan het behandelen van klachten van bewoners, en zodoende is een consequente vermindering een kans. In een conventioneel systeem zijn kleine onderhoudsacties vaak de verantwoordelijkheid van de bewoner (e.g. toevoerroosters). Vaak blijkt echter dat bewoners deze actie niet nemen, met klachten als gevolg. In het (collectieve) EWF-concept is er geen taak voor bewoners in het onderhoud van het systeem.

Een ander voordeel ten aanzien van klachten is de simpelheid van het systeem. Het EWF-concept is zelfregulerend en vereist geen instellingen (e.g. schakelaars, te openen delen) door bewoners. Een risico hiervan is echter wel dat bewoners ook geen feedbackmechanisme hebben, met als gevolg dat zij sneller het idee hebben dat iets 'niet werkt'.

Nog een voordeel voor een woningcorporatie als Ymere is het feit dat het EWF-systeem een relatief stil systeem is, aangezien er geen ventilatoren aanwezig zijn in de woningen. Woningcorporaties hebben belang bij de tevredenheid van bewoners. Installatielawaai is vaak een bron van ergernis. Dit biedt eveneens een kans voor het succesvol toepassen van het EWF-systeem in de woningbouw.

Tot slot zijn potentiële veranderingen in regelgeving een kans. Een scenario waarbij het toepassen van het EWF concept door Ymere wel op grote schaal geïmplementeerd zal kunnen worden is wanneer de regelgeving verandert. Momenteel worden er in de BENG criteria geen eisen gesteld aan de energieprestaties van het ventilatiesysteem van een gebouw. Indien dit in de toekomst zou veranderen, dan is de kans groot dat dit betrekking heeft op luchtkwaliteit en/of energiezuinigheid van het systeem, beide aspecten waarop het EWF-concept beter scoort dan een conventioneel systeem. Daarmee zou het toepassen van het EWF systeem een extra boost kunnen krijgen en een additionele motivatie kunnen zijn voor Ymere om toe te passen in projecten.

8.4

Belemmeringen

Het beleid van Ymere, waarbij risico's zoveel mogelijk worden uitgesloten, is kenmerkend voor woningcorporaties. Dit maakt het op dit moment lastig voor woningcorporaties om het EWF-concept toe te passen. Om risico's te beperken werkt een corporatie met 'proven technology', en EWF is dat vanuit het corporatie-perspectief nog niet. Immers, het EWF-concept is op papier volledig uitgewerkt en doorgerekend, maar in de praktijk is het systeem tot nu toe alleen nog maar toegepast in Hotel Breeze Amsterdam. Ook al functioneert het systeem daar volledig naar behoren en zijn er tot op heden geen problemen opgetreden, voor een woningcorporatie als Ymere is dit onvoldoende 'bewijs' om het EWF-concept per direct in eigen projecten te implementeren. Woningcorporaties prefereren in dat opzicht standaardoplossingen en -systemen die al op grote schaal zijn toegepast. Kortom, risico's in de vorm van enige complicaties en complexiteit die horen bij een innovatief systeem als het EWF-concept worden bewust vermeden. EWF is in dat opzicht dus nog te nieuw en te uniek, en dat vormt voor hen als woningcorporatie een drempel.

Een andere belemmering ligt in reparaties en onderhoud. Op het moment dat er klachten zijn van de gebruikers van een gebouw over het klimaatstelsel stuurt Ymere een monteur langs om het probleem te verhelpen. De monteurs van de partijen waar Ymere mee werkt zijn alleen bekend met de 'standaard' systemen die vaak door Ymere worden toegepast, en kunnen dus efficiënt te werk gaan. Het EWF systeem is nieuw, hetgeen ofwel duurdere monteurs vergt of meer tijd door dezelfde monteurs. Toepassing van het EWF systeem is dus alleen mogelijk indien er een partij gevonden wordt die ervoor open staat monteurs hiervoor op te leiden, zoals bijvoorbeeld Van Delft Groep, die het installatieontwerp voor Hotel Breeze Amsterdam heeft verzorgd. Hoe dan ook zal dit leiden tot een kostenverhoging met betrekking tot onderhoudsacties. De verwachting overigens is dat dit gecompenseerd door een verminderd aantal onderhouds- en storingsacties.

Een ander aspect dat het voor een woningcorporatie als Ymere lastig maakt om het EWF-concept als economische kans of verdienmodel te zien, is het feit dat over het algemeen het volledige energieconcept wordt uitbesteed aan een ESCo als gevolg van risicobeperking (zie

paragraaf 8.1). De voordelen op het gebied van exploitatie die met het EWF-concept te behalen vallen zijn daardoor geen voordelen voor de woningcorporatie, maar voor de ESCo.

Een ander belemmerend aspect volgt uit de sterke ambitie van Ymere om op korte termijn zo veel mogelijk te bouwen. Het investeren in de implementatie van een innovatief concept als het EWF-systeem heeft daardoor geen prioriteit. Dit is echter een belemmerende factor die vooral bepaald is door huidig beleid, hetgeen zou kunnen wijzigen in de toekomst, of anders zou kunnen zijn voor andere corporaties.

8.5 *Vervolgstappen om tot implementatie te komen*

Met name omdat het EWF concept nog geen 'proven technology' is, is het onwaarschijnlijk dat een woningcorporatie zelf investeert en risico draagt voor het EWF-concept. Echter, de corporatie ziet wel degelijk kansen en voordelen van een woonobject met het EWF-concept geïntegreerd, zolang de verantwoordelijkheden (en risico's) maar niet bij hen liggen. De implementatie van het EWF-concept in woningbouwprojecten heeft daarom de grootste kans van slagen wanneer er een ESCo of andere partij bereid is het EWF-systeem te willen implementeren én exploiteren.

Het is sterk aan te raden dat een combinatie van een innovatief ingenieursbureau in samenwerking met een eveneens innovatief installateur en/of een ESCo het voortouw nemen. Zolang er een partij is die baat heeft bij de lange-termijn voordelen van het concept en tevens de risico's kan dragen (zoals een ESCo), kan het geheel worden toegepast in woonobjecten.

8.5.1 *Economische kansen als vervolgstap*

Een belangrijke vervolgstap die kan leiden tot het grootschalig toepassen van het EWF-concept is het onderzoeken van het break-even point qua investeringskosten versus terugwintijd. In dit onderzoek is voornamelijk gekeken naar initiële bouwkosten en kwalitatieve voordelen over de levensduur van een project, bij een project van vier lagen. Bij een hoger object verandert de verdeling van kosten. Een studie naar de kostenbalans bij een andere gebouwtypologie is gewenst, zodat vastgesteld kan worden wat de meest geschikte bouwconfiguraties zijn voor het EWF concept. Tevens zou een gedetailleerdere studie naar de terugverdientijd gedaan moeten worden, waarbij de energiebesparing, onderhoudsvermindering en storingsgevoeligheid in acht worden genomen.

8.6 *Conclusie*

Op het gebied van exploitatie en implementatie biedt het EWF-concept veel voordelen, maar voor een woningcorporatie als Ymere is het EWF-concept nog niet voldoende 'bewezen' om per direct te implementeren. De risico's en investering die gepaard gaan met een dergelijke innovatie, worden bewust vermeden door een corporatie.

Implementatie kan gerealiseerd worden wanneer een innovatief ingenieursbureau in samenwerking met een eveneens innovatief installateur en/of een ESCo de verantwoordelijkheid voor het ontwerp en exploitatie daarvan op zich kunnen nemen. De corporatie kan dit stimuleren door in hun uitvragen eisen te stellen aan het energieconcept.

9 Conclusies, discussie en aanbevelingen

9.1 *Conclusies*

Dit rapport beschrijft de bevindingen van een onderzoek naar de meerwaarde en de haalbaarheid van het Earth, Wind & Fire (EWF)-concept ten opzichte van een conventioneel installatiesysteem. Hierbij luidt de hoofdvraag: "Wat is de meerwaarde en de haalbaarheid van het Earth, Wind & Fire (EWF) concept ten opzichte van een conventioneel installatiesysteem in gestapelde woningbouw?". In dit onderzoek zijn twee varianten van hetzelfde gebouw met elkaar vergeleken. Het betreft een 4 laags woningbouwblok. De vergeleken varianten zijn: Variant B (met een conventioneel klimaatsysteem) en Variant C (met een EWF klimaatsysteem). De vergelijking is gemaakt op vijf verschillende onderwerpen, namelijk de energieprestatie, het comfort, de kosten, de CO₂-uitstoot en de implementatie en exploitatie mogelijkheden. Uit het onderzoek zijn voor deze vijf onderwerpen de volgende deel-conclusies te trekken;

Deelconclusie: Energiegebruik

Het EWF-concept verbruikt voor het reguleren van het binnenklimaat in zijn geheel 19% minder energie dan het referentieontwerp. Voor één woning komt dit neer op een daling van energieverbruik van 4481 kWh naar 3630 kWh, een besparing van 851 kWh per jaar. Als de koudelevering wordt gezien als energiebesparing, is de totale energiebesparing 28%, respectievelijk 1120 kWh per jaar.

Deelconclusie: Comfort

Toepassing van het EWF-systeem leidt tot een hoger comfort dan toepassing van een conventioneel klimaatsysteem. Het aantal temperatuuroverschrijdingsuren neemt af en de maximale binnentemperatuur daalt. De toevoerluchttemperatuur is aangenamer in zowel de winter als de zomer en tochtklachten nemen af. Toepassing van EWF resulteert dus in een comfortabeler en gezonder binnenklimaat.

Deelconclusie: Milieu-impact

De milieu-impact ten gevolge van energiegebruik is bij toepassing van EWF tot 35% lager (CO₂-equivalent). Het verschil in milieu-impact als gevolg van materiaalgebruik tussen de conventionele variant en de EWF-variant is verwaarloosbaar.

Deelconclusie: Bouwkosten

Toepassing van een EWF-systeem leidt bij het beschouwde bouwblok van 4 bouwlagen tot een toename in de bouwkosten van 1,46%. Over het algemeen is dit (kleine) verschil voor woningcorporaties (e.g. Ymere) niet doorslaggevend. Daarbij zal het verschil in bouwkosten afnemen naarmate het gebouw hoger wordt, en is de verwachting dat de bouwkosten zelfs lager uit zullen komen dan van een gebouw met een conventionele installatie.

Deelconclusie: Implementatie en exploitatie

Op het gebied van exploitatie en implementatie biedt het EWF-concept veel voordelen. Het innovatieve karakter maakt woningcorporaties terughoudend. Het is nog geen 'proven technology'. Implementatie moet worden gefaciliteerd door een ESCo die het voortouw neemt, en zowel de kansen als de risico's van het EWF-concept op zich neemt.

	Prestatie EWF t.o.v. conventioneel ventilatiesysteem
Energiegebruik	+
Comfort	++
Milieu-impact energie	+
Milieu-impact materialen	0
Bouwkosten	-
Impl. & expl.	+

Tabel 8 - Overzicht prestatie EWF ten opzichte van een conventioneel ventilatiesysteem

Conclusie

Als algehele conclusie kan gesteld worden dat het EWF-concept beter presteert dan een conventioneel ventilatiesysteem op de onderzochte onderwerpen, namelijk het energiegebruik, het comfort en de milieu-impact. Het antwoord op de hoofdvraag van dit onderzoek is daarmee dat het EWF-concept een duidelijke meerwaarde kent ten opzichte van een conventioneel systeem, en daarmee effectief toepasbaar is in lage gestapelde woningbouw. Echter, de drempel bij het toepassen van het EWF principe wordt momenteel nog gevormd door de belemmeringen op het gebied van implementatie en exploitatie. Door het innovatieve karakter van het EWF principe is het nog geen 'proven technology'. Dit is een belemmerende conditie voor woningcorporaties die vanuit exploitatieoogpunt juist een zo groot mogelijke zekerheid willen over de werking van hun installatiesystemen. Ymere als corporatie staat wel open voor een dergelijke innovatie wanneer het risico voor de werking niet bij hen ligt. Dit pleit voor een alternatieve samenwerkingsvorm voor het realiseren van dit systeem. In dat kader kan dit gefaciliteerd worden door een combinatie van een innovatief ingenieursbureau dat samen met een innovatief installateur en/of ESCo het voortouw neemt, en zowel de kansen als de risico's van het EWF-concept voor haar rekening neemt.

9.2

Discussie

In dit onderzoek is de meerwaarde en haalbaarheid van EWF-concept in meerlaagse woningbouw bepaald door een vergelijking tussen een project in realisatie, en een hypothetisch ontwerp van datzelfde project, maar dan met het EWF-concept. Deze aanpak zorgt voor een concrete, haalbare vergelijking, maar kent enkele beperkingen die hieronder gedeeld worden.

Uit deze studie en eerdere studies blijkt dat het EWF-concept efficiënter wordt naarmate een gebouw hoger is. Dit is enerzijds het gevolg van de fysische werking van de klimaatcascade en zonneshoorsteen (de hoogte afhankelijke aerodynamische drukverschillen), en anderzijds van het schaalvoordeel dat gepaard gaat met hogere gebouwen. Eigenlijk is een bouwblok van 4 bouwlagen, zoals in dit onderzoek is gebruikt, een minimale hoogte waarop het nuttig is het EWF-systeem toe te passen. Voor deze lage bouwblokken blijft de meerwaarde van het EWF-concept dus beperkter dan de positieve impact die de toepassing van het concept kan hebben bij hogere gebouwen. Bovendien neemt het dakoppervlak als functie van het gebruiksoppervlak af bij toenemende bouwhoogte waardoor minder zonnepanelen op het dak kunnen worden geplaatst en het voldoen aan de BENG-3 prestatie-eis moeilijker wordt. Toepassing van gevelcollectoren met een lagere opbrengst en hogere kosten wordt dan noodzakelijk. Kortom, de meerwaarde die genoemd is in dit onderzoek, kan versterkt worden door toepassing in hogere gebouwen.

Wat betreft de rekenmethodiek moet worden vermeld dat deze gebaseerd is op gevalideerde software. Echter, het EWF-concept zelf is slechts toegepast in één project (Hotel Breeze), met als gevolg dat de modellen nog niet gevalideerd zijn op basis van empirische data van

gerealiseerde, functionele gebouwen. De meetgegevens van de eerste jaren functionaliteit van Hotel Breeze die medio 2020 vrij zullen komen, kunnen van meerwaarde zijn voor het betrouwbaarder maken van de rekenmethodiek.

Tot slot zal de meerwaarde van het EWF-concept groter zijn bij gebouwen die voornamelijk overdag (tijdens zonuren) gebruikt worden, bijvoorbeeld kantoren of winkels. De bezettingsgraad van woningen is groter tijdens de vroege ochtend, avond en nacht, kortom de momenten dat de zon niet schijnt en er dus geen voordeel gehaald kan worden uit ventilatie via het EWF-systeem.

9.3

Aanbevelingen

Wij zien dit onderzoek als een waardevolle eerste stap richting het op grote schaal toepassen van het EWF-systeem. Het EWF-concept heeft veel voordelen, en het is dan ook zeker aan te raden om dit systeem op grote schaal te gaan toepassen. Dit onderzoek bewijst, net als eerdere onderzoeken naar dit concept, dat het EWF-principe significante verbetering biedt voor gezondheid en comfort van gebruikers van gebouwen, terwijl het energieverbruik afneemt en de bouwkosten vrijwel gelijk blijven. Wij raden dan ook sterk aan dit systeem op grote schaal toe te passen. De volgende stap die gemaakt dient te worden is het implementeren en in detail uitwerken van het concept. Echter lijken er nog wel risico's te zitten in de implementatie. Het meest realistische scenario waarop toepassing van het EWF-systeem op grote schaal mogelijk gaat zijn zal liggen in een samenwerking tussen een ingenieursbureau (als ABT) met een installatie-adviseur of ESCo. Als dergelijke partijen de kansen en meerwaarde van het concept onderkennen, dienen zij samen het voortouw te nemen en met een concreet voorstel naar een corporatie (als Ymere) toe te stappen. Hiermee wordt de drempel voor corporaties om innovatieve concepten toe te passen overkomen, en kunnen de kansen van dit concept op grotere schaal worden benut.

10 Verwijzingen

- (sd). AZ Quotes. Opgehaald van https://www.azquotes.com/author/5231-R_Buckminster_Fuller
- Bluyssen, P. (2018). *Gezondheidsrisico's vervuilde binnenlucht zwaar onderschat*. Bouwwereld. Opgehaald van <https://www.bouwwereld.nl/bouwkennis/gezondheidsrisicos-vervuilde-binnenlucht-zwaar-onderschat/>
- Bronsema, B. (1997). Luchtbevochtiging-Van de regen in de drup? *TVVL-Magazine*, 7/1997.
- Bronsema, B. (2012/A). *Earth, Wind & Fire – Airconditioning zonder Ventilatoren (IV) BINNENMILIEU - Symbiose van Architectuur en Klimaattechniek*. Opgehaald van www.bronconsult.org
- Bronsema, B. (2012/B). Het warmte eiland effect. *TVVL Magazine*, 01/2012.
- Bronsema, B. (2013). *Earth, Wind & Fire Natuurlijke Airconditioning*. Proefschrift TU Delft ISBN9789059727625.
- Bronsema, B., Quist, M., Aanen, L., & Meerstadt, O. (2018). Natuurlijke ventilatie en energie via het dak. *Earth, wind & fire: evolutie van een innovatie (2)*.
- Europese Commissie. (2018). *Europese Energy Performance of Buildings Directive (EPBD III)*. Europese Commissie.
- Jacobs, P. (2018). *Belang van kookafzuiging in luchtdichte woningen*. ISIAQ.nl symposium 2018.
- Jacobs, P., & Borsboom, W. (2017). *Cooking exhaust systems for low energy dwellings* (Vol. December 2017). REHVA Journal.
- Lomas, K., & Porritt, S. (2017, November). Overheating in buildings: lessons from research. *Building Research and Information*, 45 (1-2), pp. 1-18. doi:10.1080/09613218.2017.1256136
- Neprom/NVBI. (2018). *Debat Investeringsplan voor Duurzame Verstedelijking*. Neprom/NVBI.
- Nicol, F., & Spires, B. (2013). *TM52: The Limits of Thermal Comfort: Avoiding Overheating in European Buildings*. CIBSE.
- Nieman. (sd). *FAQ BENG*. Nieman. Opgehaald van <https://www.nieman.nl/vakgebieden/energie-en-duurzaamheid/faq-beng/>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2020). *Hotel Breeze en gemeente Oostzaan winnen EZK Energy Award 2019*. Den Haag: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. Opgehaald van <https://www.rvo.nl/actueel/nieuws/hotel-breeze-en-gemeente-oostzaan-winnen-ezk-energy-award-2019>
- W/E adviseurs. (2018). *Ontwikkeling van koudevraag van woningen - Factsheets met conclusies en aanbevelingen - RVO TSE1704039*. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Appendix A: Uitvoering van het project

Problemen tijdens het project

Tijdens het project hebben zich geen significante problemen voorgedaan. Twee kleine punten kunnen benoemd worden.

De bepalen van de twee te vergelijken varianten B (conventioneel) en C (EWF) bleek een complexere exercitie dan in eerste instantie verwacht. Hierbij zat de moeilijkheid in het feit dat beide varianten op zichzelf dienen te voldoen als kloppend energetisch en installatietechnische geheel, maar daarnaast qua systeem en energetische balans ook zo eenvoudig mogelijk dienen te blijven en sterk met elkaar overeen te komen om zo een eerlijke vergelijking mogelijk te maken. Omdat het EWF-concept relatief nieuw is, was ook de ervaring ten aanzien van berekeningen met dit concept laag. Hierdoor hebben we tijdens het proces de initiële varianten een aantal keer moeten aanpassen, en vervolgens de vergelijkende berekeningen opnieuw moeten doen. Het maken van de berekeningen heeft daardoor uiteindelijk meer tijd gekost dan van tevoren ingeschat. Ook werden de berekeningen telkens complexer omdat bleek dat er met meer factoren rekening moest worden gehouden. Voor het uiteindelijke resultaat van deze haalbaarheidsstudie heeft het geen probleem gevormd, maar het onderzoeksproces is daardoor trager, doch grondiger, verlopen.

Een tweede aspect wat het onderzoek bemoeilijkt heeft is de uitgestelde implementatie van de BENG-eisen in Nederland. Waar tijdens aanvang van het project nog een implementatiedatum van 1 januari 2020 voor BENG gold, en daarmee het beschikbaar stellen van software uiterlijk 1 juli 2020, is tijdens het proces gebleken dat zowel beschikbaarheid van software als implementatie van BENG een jaar zijn uitgesteld. Het berekenen conform de BENG-eisen was deel van het plan van aanpak, en als gevolg van de verschoven deadlines hebben we een middenweg moeten vinden.

Wijzigingen ten opzichte van het projectplan

Er zijn geen significante wijzigingen ten opzichte van het projectplan te benoemen. Twee kleine punten ten aanzien van de aanpak kunnen gemeld worden:

Ten eerste betreft dat de prestatievergelijking met de BENG-normen, zoals omschreven in paragraaf 2.3.1 van het projectplan. Als gevolg van de, tevens in vorige paragraaf beschreven, uitgestelde implementatie van de BENG-eisen en rekensoftware, heeft deze vergelijking niet volledig kunnen plaatsvinden. In plaats daarvan hebben wij gewerkt met de 'voorlopige BENG-tool', hetgeen de best beschikbare tool is om de BENG-eisen te berekenen, aangevuld met de BENG-indicatoren conform de EPC rekenmethodiek.

Ten tweede is er voor gekozen om het vergelijk te maken tussen variant B (conventioneel) en variant C (EWF). Variant A is daarmee bewust weggelaten uit de uiteindelijke vergelijking. Dit is een afwijking van de aanpak zoals omschreven in paragraaf 3.1 van het projectplan. De reden voor deze afwijking is dat in de loop van het proces duidelijk werd dat een vergelijk tussen drie varianten vooral verwarrend werkte. De vergelijking tussen variant B en C geeft ons inziens op de meest heldere wijze antwoord op de onderzoeksvraag. Variant A is wel uitvoerig omschreven als zijnde referentie.

Verder zijn er zijn geen wijzigingen opgetreden met betrekking tot het opgestelde projectplan. In het projectplan werd als doelstelling omschreven dat deze haalbaarheidsstudie zou onderzoeken in hoeverre het EWF-concept toepasbaar is als nieuw model voor energietransitie en klimaatverbetering in een toekomstbestendige hoogbouw. Gezien de aspecten die in dit onderzoek zijn onderzocht en de daaruit voortkomende conclusies kan gesteld worden dat het vooraf opgestelde doel uit het project behaald is.

Verschillen tussen begroting en werkelijk gemaakte kosten

De werkelijk gemaakte kosten zijn circa 5% hoger dan begroot. Dit is het gevolg van de in paragraaf 11.1 omschreven problemen. Dit verschil is klein en wordt door de opdrachtnemer beschouwd als acceptabel en als nuttige bijdrage aan algemene kennisontwikkeling.

Wijze van kennisverspreiding

ABT is onderdeel van de Oosterhoff Group, bestaande uit negen adviesbureaus met diverse inzichten in de gebouwde omgeving. Kennisontwikkeling, -deling en innovatie staat in deze

samenwerking centraal en de werkmaatschappijen zoeken elkaar steeds vaker op met het doel elkaar te versterken. Door werkzaamheden in verschillende regio's binnen Nederland, België en Duitsland, veel diverse opdrachtgevers en posities in projecten biedt OG de kans om allereerst meer draagvlak te creëren binnen de holding zelf. We zullen de resultaten van dit onderzoek verspreiden binnen de holding door middel van lezingen, intranet en de toegankelijke kennisbank.

Een tweede manier waarop ABT zal bijdragen aan kennisverspreiding over het EWF-concept is door het concept zelf aan te dragen / te adviseren / toe te passen bij nieuwe projecten indien een project daar de mogelijkheid toe biedt. ABT streeft ernaar om bij te dragen aan het verduurzamen van de bouwsector, waarbij het toepassen van een natuurlijk ventilatiesysteem volgens het EWF-concept goed aansluit.

PR-mogelijkheden

Ben Bronsema is sinds zijn promotie op het Earth, Wind & Fire concept zeer actief op het gebied van PR ten aanzien van het EWF onderwerp. Dit is mede terug te zien in de verschillende publicaties hierover, gewonnen prijzen (e.g. de EZK Energy Award 2019). Meermaals wordt Ben uitgenodigd voor het geven van lezingen over dit onderwerp. Daarnaast wordt er met regelmaat een rondleiding georganiseerd in Hotel BREEZE te Amsterdam, het hotel waar dit concept is toegepast. Deze rondleiding omvat vaak een lezing van Ben Bronsema, waarin tevens de resultaten van dit onderzoek benoemd kunnen worden.

Appendix B: EPC berekeningen Eenhoornproject

EPC berekening van het Referentieproject

EWF studie Eenhoorn		Mark van Veghel, Abt
Uniec ^{2.2}		STUDIEBEREKENING
16589 - Earth, Wind & Fire studie - EWF studie Eenhoorn Variant A - idem variant 5 ESCo Eenhoorn		0,30
Jaarlijkse hoeveelheid primaire energie voor de energiefunctie		
verwarming (excl. hulpenergie)	$E_{H,P}$	686.715 MJ
hulpenergie		204.719 MJ
warmtapwater (excl. hulpenergie)	$E_{W,P}$	812.750 MJ
hulpenergie		0 MJ
koeling (excl. hulpenergie)	$E_{C,P}$	0 MJ
hulpenergie		0 MJ
zomercomfort	$E_{SC,P}$	26.034 MJ
ventilatoren	$E_{V,P}$	23.509 MJ
verlichting	$E_{L,P}$	273.853 MJ
geëxporteerde elektriciteit	$E_{P,exp,el}$	0 MJ
op eigen perceel opgewekte & verbruikte elektriciteit	$E_{P,pr,us,el}$	910.534 MJ
in het gebied opgewekte elektriciteit	$E_{P,pr,del,el}$	0 MJ
Oppervlakten		
totale gebruiksoppervlakte	$A_{g,tot}$	5.943,00 m ²
totale verliesoppervlakte	A_{ls}	9.511,60 m ²
Externe warmtelevering gebruik (n.v.t. bij 2e trap)		
gebouwgebonden installaties		813 GJ
Elektriciteitsgebruik		
gebouwgebonden installaties		131.818 kWh
niet-gebouwgebonden apparatuur (stelpost)		166.594 kWh
op eigen perceel opgewekte & verbruikte elektriciteit		98.799 kWh
geëxporteerde electriciteit		0 kWh
TOTAAL		199.612 kWh
CO₂-emissie		
CO ₂ -emissie	m_{co2}	89.928 kg
Energieprestatie		
specifieke energieprestatie	EP	188 MJ/m ²
karakteristiek energiegebruik	$E_{P,tot}$	1.117.047 MJ
toelaatbaar karakteristiek energiegebruik	$E_{P,adm,tot,nb}$	1.529.161 MJ
energieprestatiecoëfficiënt	EPC	0,293 -
energieprestatiecoëfficiënt	EPC	0,30 -
Onderstaande BENG Indicatoren zijn berekend conform de Handreiking BENG gebaseerd op de NEN 7120. Vanaf 20 november 2018 is het duidelijk dat deze indicatoren en de voorlopige BENG eisen uit 2015 achterhaald zijn. Zie ons artikel Nieuwe BENG eisen bekend		
Uniec v2.2.16.1		Printdatum: 17-7-2019 15:07

EWF studie Eenhoorn

Mark van Veghel, Abt

Wij raden ten sterkste af om met onderstaande informatie te rekenen en kunnen geen helpdesk vragen over deze eisen beantwoorden, aangezien wij ons richten op de BENG eisen conform NTA 8800 en de bijbehorende software Uniec 3. De enige reden dat wij deze resultaten nog tonen is om gebruikers tegemoet te komen die voor 20 november 2018 met deze getallen hebben gerekend en het resultaat willen inzien.

BENG indicatoren

energiebehoefte	41,6 kWh/m ²
primair energiegebruik	39,4 kWh/m ²
aandeel hernieuwbare energie	54 %

Alle bovenstaande energiegebruiken zijn genormeerde energiegebruiken gebaseerd op een standaard klimaatjaar en een standaard gebruikersgedrag. Het werkelijke energiegebruik zal afwijken van het genormeerde energiegebruik. Aan de berekende energiegebruiken kunnen geen rechten ontleend worden.

EPC berekening van variant B (conventioneel ventilatiesysteem)

EWF studie Eenhoorn		Mark van Veghel, Abt
Uniec ^{2.2}		STUDIEBEREKENING
16589 - Earth, Wind & Fire studie - EWF studie Eenhoorn Variant B_v2		0,30
Jaarlijkse hoeveelheid primaire energie voor de energiefunctie		
verwarming (excl. hulpenergie)	$E_{H,P}$	549.122 MJ
hulpenergie		204.719 MJ
warmtapwater (excl. hulpenergie)	$E_{W,P}$	949.019 MJ
hulpenergie		0 MJ
koeling (excl. hulpenergie)	$E_{C,P}$	0 MJ
hulpenergie		0 MJ
zomercomfort	$E_{SC,P}$	25.876 MJ
ventilatoren	$E_{V,P}$	23.509 MJ
verlichting	$E_{L,P}$	273.853 MJ
geëxporteerde elektriciteit	$E_{P,exp,el}$	0 MJ
op eigen perceel opgewekte & verbruikte elektriciteit	$E_{P,pr,us,el}$	910.534 MJ
in het gebied opgewekte elektriciteit	$E_{P,pr,dei,el}$	0 MJ
Oppervlakten		
totale gebruiksoppervlakte	$A_{g,tot}$	5.943,00 m ²
totale verliesoppervlakte	A_{ls}	9.511,60 m ²
Elektriciteitsgebruik		
gebouwgebonden installaties		219.846 kWh
niet-gebouwgebonden apparatuur (stelpost)		166.594 kWh
op eigen perceel opgewekte & verbruikte elektriciteit		98.799 kWh
geëxporteerde electriciteit		0 kWh
TOTAAL		287.641 kWh
CO₂-emissie		
CO ₂ -emissie	m_{co2}	68.372 kg
Energieprestatie		
specifieke energieprestatie	EP	188 MJ/m ²
kenmerkend energiegebruik	$E_{P,tot}$	1.115.566 MJ
toelaatbaar kenmerkend energiegebruik	$E_{P,adm,tot,nb}$	1.529.161 MJ
energieprestatiecoëfficiënt	EPC	0,292 -
energieprestatiecoëfficiënt	EPC	0,30 -
Uniec v2.2.16.1		Pagina 1/2
		Printdatum: 13-12-2019 15:01

EWF studie Eenhoorn

Mark van Veghel, Abt

Onderstaande BENG Indicatoren zijn berekend conform de Handreiking BENG gebaseerd op de NEN 7120. Vanaf 20 november 2018 is het duidelijk dat deze indicatoren en de voorlopige BENG eisen uit 2015 achterhaald zijn. Zie ons artikel ['Nieuwe BENG eisen bekend'](#). Wij raden ten sterkste af om met onderstaande informatie te rekenen en kunnen geen helpdesk vragen over deze eisen beantwoorden, aangezien wij ons richten op de BENG eisen conform NTA 8800 en de bijbehorende software Uniec 3. De enige reden dat wij deze resultaten nog tonen is om gebruikers tegemoet te komen die voor 20 november 2018 met deze getallen hebben gerekend en het resultaat willen inzien.

BENG indicatoren

energiebehoefte	41,3 kWh/m ²
primair energiegebruik	39,3 kWh/m ²
aandeel hernieuwbare energie	65 %

Alle bovenstaande energiegebruiken zijn genormeerde energiegebruiken gebaseerd op een standaard klimaatjaar en een standaard gebruikersgedrag. Het werkelijke energiegebruik zal afwijken van het genormeerde energiegebruik. Aan de berekende energiegebruiken kunnen geen rechten ontleend worden.

Appendix C: Kostenramingen

Project	Indicatie installatieconcept EWF Woningbouw	Werkcode	16589
Opdrachtgever	Ymere te Amsterdam	Referentie	bkc
Onderwerp	Samenvatting en overzicht Fictief bouwvolume	Printdatum	10-dec-19
Bestandsnaam	P:\165\16589\01_Documenten ABT\Begrotingen\16589_BEG_Indicatie installatie EWF_V003.xlsm\Ram	Prijspeil	aug-2019
Versienummer	V003	Adviesgroep	kosten

Samenvatting kostenraming conform NEN2699

B1	Bouwkundige werken	€	5.316.411	805 /m²bvo	49%
B2	Installaties	€	2.632.072	398 /m²bvo	24%
B3	Vaste inrichtingen	€	475.200	72 /m²bvo	4%
B4	Terrein	€	110.617	17 /m²bvo	1%
B5	Algemene uitvoeringskosten	€	2.354.701 +		22%
Totaal bouwkosten (excl. btw)		€	10.889.000	1.648 /m²bvo	

- Bouwkundige werken
- Installaties
- Vaste inrichtingen
- Terrein
- Algemene uitvoeringskosten

Analyse

Variant B

- totale kosten voor gehele gebouw € 10.729.000 Totaal bouwkosten (excl. btw)
- totale kosten / m2 gebouw € 1.624 / m2 BVO
- directe kosten voor alleen het klimaatsysteem (conventioneel) € 1.460.108 Directe bouwkosten (B2B)

Variant C (EWF)

- totale kosten voor gehele gebouw € 10.889.000 Variant B
- totale kosten / m2 gebouw € 1.648 / m2 BVO
- directekosten voor alleen het klimaatsysteem (EWF) € 1.526.567 Directe bouwkosten (B2B)

Projectanalyse

Oppervlakte analyse conform NEN2580:2007	Vormfactoren
Bebouwd oppervlakte (bbo) 1.999 m2	bbo / bvo 0,30
Bruto vloeroppervlakte (bvo) 6.608 m2	nvo / bvo 0,89
Netto vloeroppervlakte (nvo) 5.881 m2	bgd / bvo 0,56
Bruto geveloppervlakte (bgd) 3.720 m2	bgo / bdg 0,40
Bruto gevelopp. open (bgo) 1.488 m2	bouwlagen 4,00
Bruto gebouw inhoud (bi) 22.467 m3	functionele eenheden 88,00

Uitgangspunten

Basisgegevens

Project	Indicatie installatieconcept EWF Woningbouw	
Deelproject	Raming installatieconcept	
Fase	schets	ontwerp
Architect	...	
Adviseurs	ABT bv	

Gerekende (ontvangen) stukken

Architect	d.d. 04-03-2019	
- Project 15204 bk6 7 300		
Constructeur		
-		
Installatie adviseur		
- Kaders van de rapportage		
Adviseurs		
-		

pagina 1 van de 2



Project	: Indicatie installatieconcept EWF Woningbouw	Werkcode	: 16589
Opdrachtgever	: Ymere te Amsterdam	Referentie	: bkc
Onderwerp	: Samenvatting en overzicht Fictief bouwvolume	Printdatum	: 10-dec-19
Bestandsnaam	: P:\165\16589\01_Documenten ABT\Begrotingen\16589_BEG_Indicatie installatie EWF_V003.xlsm\Ram	Prijspeil	: aug-2019
Versienummer	: V003	Adviesgroep	: kosten

Gebouwgegevens

gebouwtipe: niet gespecificeerd

Woningbouw appartementen

Uitgangspunten en aannamen

Bouwkundig : Uitgangspunten zijn gebaseerd op de gekozen bouwmassa van het referentieproject

Constructief : Kosten zijn bepaald aan de hand van element gerelateerde componenten

Installaties : Basis installatie conform eisen van het bouwbesluit uitgebreid met EWF principe

Terrein : Raming opgesteld conform de NEN2699

Algemene uitvoeringskosten 12%

Voor nadere uitwerking is 3,0 % aangehouden

Algemene kosten 7%, Winst en risico 3%, CAR verzekering 0,35%

- Maatvoering als onderdeel van bouwplaatskosten
- Gevelsteigerwerken (indien van toepassing) in directe kosten
- Kraankosten voor de montage zijn in de ABK opgenomen

Niet opgenomen (exclusief)

Bouwrijpmaken, sloopkosten en sanering

Onvoorzien en financieringslasten

Losse inrichtingen (meubilair)

Belasting toegevoegde waarde (BTW)

Overige

Opgenomen stelposten (stp)

- Stelpost vaste inrichtingen	88 stp	625 postbox, nummerplaatjes, bewegwijzering
- Stelpost keuken inrichting	88 stp	3.500
- Stelpost sanitair	88 stp	1.200

pagina 2 van de 2

abt

Project : Indicatie installatieconcept EWF Woningbouw					Werkcode : 16589	
Opdrachtgever : Ymere te Amsterdam					Referentie : bkc	
Onderwerp : Raming installatieconcept					Datum : 10-dec-19	
Fictief bouwvolume					Prijspeil : aug-2019	
Bestandsnaam : P:\165\16589\01_Documenten ABT\Begrotingen\16589_BEG_Indicatie installatie EWF_V003.xlsm]Raming					Adviesgroep : kosten	
Versienummer : V003						

elem.	sub	omschrijving	hoev.	ehd.	€ / ehd	totaal	prijs / BVC	perc.
BOUWKOSTEN exclusief BTW								
Totaal						€ 10.889.000		
Functie eenheid			88	eenheden		€ 123.739		
BVO (bruto vloer oppervlak)			6.608	m2		€ 1.648		
BI (bruto inhoud)			22.467	m3		€ 485		

ALGEMEEN								
status:			Voorstudie					
basisgegevens:			Overleg					
controle door:			Charles Boks				bkc	
verificatie door:			VHE				paraaf	

B	TOTAAL BOUWKOSTEN	10.889.000	1.648	100,0%
B1	BOUWKUNDIGE WERKEN	5.316.411	805	48,8%
A2A	OBJECT GEBONDEN SLOOP			
B1A	FUNDERING	379.420	57	3,5%
B1B	SKELET	1.246.380	189	11,4%
B1C	DAKAFBOUW / DAKAFWERKING	312.922	47	2,9%
B1D	GEVELAFBOUW / GEVELAFWERKING	1.571.652	238	14,4%
B1E	BI.WANDAFBOUW / BI.WANDAFWERKING	1.171.842	177	10,8%
B1F	VLOERAFBOUW / VLOERAFWERKING	460.656	70	4,2%
B1G	TRAPPEN EN HELLINGBANEN	87.338	13	0,8%
B1H	PLAFONDS BINNEN EN BUITEN	86.201	13	0,8%
B2	INSTALLATIES	2.632.072	398	24,2%
B2A	WTB: VLOEISTOF EN GAS	259.496	39	2,4%
B2B	WTB: KLIMAATINSTALLATIE	1.526.567	231	14,0%
B2C	ELECTRA: ENERGIEVOORZIENING EN VERLICHTING	612.553	93	5,6%
B2D	ELECTRA: COMMUNICATIE EN BEVEILIGING	103.456	16	1,0%
B2E	TRANSPORTINSTALLATIE	130.000	20	1,2%
B3	VASTE INRICHTINGEN EN VOORZIENINGEN	475.200	72	4,4%
B3A	VASTE INRICHTINGEN EN VOORZIENINGEN	475.200	72	4,4%
B4	TERREIN	110.617	17	1,0%
B4A	GRONDVOORZIENINGEN	12.500	2	0,1%
B4B	OPSTALLEN (GEBOUWTJES, OVERKAPPINGEN e.d.)			
B4C	OMHEININGEN EN AFWERKINGEN	80.086	12	0,7%
B4D	INSTALLATIES IN HET TERREIN	13.019	2	0,1%
B4E	TERREININRICHTING	5.011	1	0,0%
Subtotaal directe kosten		8.534.299	1.292	78,4%
B5	ALGEMENE UITVOERINGSKOSTEN / diversen	2.354.701	356	21,6%
B5A	DIVERSE DETAILLERINGEN IN ONTWERP	256.029	39	2,4%
B5B	ALGEMENE UITVOERINGSKOSTEN PROJECT	1.054.839	160	9,7%
B5C	COORDINATIEKOSTEN NEVENAANNEMERS			
B5D	ALGEMENE BEDRIJFSKOSTEN (bouwbedrijf)	689.162	104	6,3%
B5E	WINST EN RISICO (bouwbedrijf)	316.030	48	2,9%
B5F	VERZEKERING EN AFRONDING	38.641	6	0,4%

pagina 1 van de 5

abt Project : Indicatie installatieconcept EWF Woningbouw Opdrachtgever : Ymere te Amsterdam Onderwerp : Raming installatieconcept Bestandsnaam : P:\165\16589\01_Documenten ABT\Begrotingen\16589_BEG_Indicatie installatie EWF_V003.xlsm Versienummer : V003 Werkcode : 16589 Referentie : bkc Datum : 10-dec-19 Prijspeil : aug-2019 Adviesgroep : kosten							
Fictief bouwvolume							
elem.	sub	omschrijving	hoev.	ehd.	€ / ehd	totaal	prijs / BVC
32		Binnenwandopeningen	11,6% van binnenwand	1.347	m2	199,66	268.976
42		Binnenwandafwerkingen	incl. verbijzonderingen	11.564	m2	27,13	313.752
B1F VLOERAFBOUW / VLOERAFWERKING						460.656	70
23		Vloeren overig	1	m2	343.520,00	343.520	52
33		Vloeropeningen		m2			
43		Vloerafwerkingen	netto m2 - vert. verkeersopp	5.785	m2	20,25	117.136
B1G TRAPPEN EN HELLINGBANEN						87.338	13
24		Trappen en hellingen	96	m2	775,00	74.400	11
34		Balustrades en leuningen	57	m1	125,00	7.178	1
44		Trapafwerkingen	vert. verkeersoppe.	96	m2	60,00	5.760
B1H PLAFONDS BINNEN EN BUITEN						86.201	13
45		Plafondafwerkingen	m2 - vert. verk.opp + overb.	5.785	m2	14,90	86.201
B2 INSTALLATIES						2.632.072	398
B2A WTB: VLOEISTOF EN GAS						259.496	39
50		Gebouwinstallaties (W)	22.467	m3			
51		Afvoer vaste stoffen	22.467	m3			
52		Afvoer vloeistoffen	22.467	m3	3,53	79.296	12
53		Water	22.467	m3	8,02	180.200	27
54		Gassen	22.467	m3			
B2B WTB: KLIMAATINSTALLATIE						1.526.567	231
55		Klimaat: koeling	22.467	m3	5,29	118.944	18
56		Klimaat: verwarming	22.467	m3	36,22	813.865	123
56		Collectieve warmte booster WP in variant B en C	1	st	80.000,00	80.000	
56		Zonne collectoren	250	m2	510,00	127.500	
56		Zonne collectoren extra voor opwarr	plus Z	-63	m2	510,00	-31.875
56		WKO	basis	1	st	350.000,00	350.000
56		warmtepomp	basis	1	st	90.000,00	90.000
56		LT distributie	basis	6.608	m2	30,00	198.240
57		warmteterugwinning	basis	6.608	m2	15,00	99.120
57		wtw ventilatie vervalt	plus L	-1	st	244.320,00	-244.320
57		kanalisatie lucht koel	plus L	872	m1	95,00	82.878
57		kanalisatie lucht warm	plus L	1.048	m1	80,00	83.872
57		kleppen en roosters	plus L	88	st	750,00	66.000
57		Twin coil WTW op zonneshoorsteen	plus T	6.608	m2	7,57	50.000
57		Klimaat: luchtbehandeling	22.467	m3	12,59	282.750	43
58		Pompen en meetsystemen extra	basis	6.608	m2	8,00	52.864
58		pompen en meetsystemen plus	plus L	6.608	m2	20,00	132.160
58		Regeling klimaat en sanitair	22.467	m3	10,59	237.888	36
59		overig extra	basis	6.608	m2	3,00	19.824
59			plus	6.608	m2	7,00	46.256
59			plus	88	st	80,00	7.040
59		Bouwkundige voorzieningen t.b.v. Wtb.-installaties	22.467	m3	3,25	73.120	11
B2C ELECTRA: ENERGIEVOORZIENING EN VERLICHTING						612.553	93
60		Gebouwinstallaties (E)	22.467	m3			

abt

Project : Indicatie installatieconcept EWF Woningbouw						Werkcode : 16589	
Opdrachtgever : Ymere te Amsterdam						Referentie : bkc	
Onderwerp : Raming installatieconcept Fictief bouwvolume						Datum : 10-dec-19	
Bestandsnaam : P:\165\16589\01_Documenten ABT\Begrotingen\16589_BEG_Indicatie installatie EWF_V003.xlsm]Raming						Prijspeil : aug-2019	
Versienummer : V003						Adviesgroep : kosten	

elem.	sub	omschrijving	hoev.	ehd.	€ / ehd	totaal	prijs / BVC	perc.
61								
61		PV panelen op dak	644	m2	350,00	225.225		
61		PV panelen bij variant C	idem					
61		Centrale voorzieningen	88	st	3.200,00	281.600		
61								
61		Centrale electrotech. voorz.	22.467	m3	22,56	506.825	77	4,7%
62		Krachtstroom	22.467	m3	0,29	6.608	1	0,1%
63		Verlichting	22.467	m3	4,41	99.120	15	0,9%

B2D ELECTRA: COMMUNICATIE EN BEVEILIGING						103.456	16	1,0%
64		Communicatie	22.467	m3	2,55	57.200	9	0,5%
64.1		Signalen	22.467	m3				
64.2		Geluiden	22.467	m3				
64.3		Beelden	22.467	m3				
65		Beveiliging	22.467	m3	1,18	26.432	4	0,2%
65.1		Brand	22.467	m3				
65.2		Braak	22.467	m3				
65.3		Overlast, detectie en alarm	22.467	m3				
67		Gebouwbeheervoorzieningen	22.467	m3				
69		Bouwkundige voorzieningen t.b.v. E-installaties	22.467	m3	0,88	19.824	3	0,2%

B2E TRANSPORTINSTALLATIE						130.000	20	1,2%
66		Liften, roltrappen, transportbanden, transportbuizen	22.467	m3	5,34	120.000	18	1,1%
69		Bouwkundige voorzieningen t.b.v. T-installaties	22.467	m3	0,45	10.000	2	0,1%

B3 VASTE INRICHTINGEN EN VOORZIENINGEN						475.200	72	4,4%
B3A VASTE INRICHTINGEN EN VOORZIENINGEN						475.200	72	4,4%
70		Vaste inrichtingen	FO 5.881	m2				
71		Vaste verkeersvoorzieningen	hor. en vert. verkeersopp. 906	m2	60,71	55.000	8	0,5%
72		Vaste gebruikersvoorzieningen	FO 5.881	m2	1,12	6.600	1	0,1%
73		Vaste keukenvoorzieningen	FO 5.881	m2	52,37	308.000	47	2,8%
74		Vaste sanitairvoorzieningen	sanitair oppervlak 165	m2	639,23	105.600	16	1,0%
75		Vaste onderhoudsvoorzieningen	FO 5.881	m2				
76		Vaste opslagvoorzieningen	FO 5.881	m2				

B4 TERREIN						110.617	17	1,0%			
B4A GRONDVOORZIENINGEN						2.500	ter.o	5,00	12.500	2	0,1%
90.1		Grondvoorzieningen	terreinoppervlak 2.500	m2	5,00	12.500	2	0,1%			
B4B OPSTALLEN (GEBOUWTJES, OVERKAPPINGEN e.d.)						2.500	ter.o				
90.2		Gebouwtjes en overkappingen	terreinoppervlak 2.500	m2							
B4C OMHEININGEN EN AFWERKINGEN						2.500	ter.o	32,03	80.086	12	0,7%
90.3		Omheining (muren, hekken, poorten enz.)		m1							
90.4		Afwerking (verharding, beplanting, v	terreinoppervlak 2.500	m2	32,03	80.086	12	0,7%			
B4D INSTALLATIES IN HET TERREIN						2.500	ter.o	5,21	13.019	2	0,1%
90.5		Werktuigbouwkundig	terreinoppervlak 2.500	m2	3,60	9.011	1	0,1%			
90.6		Elektrotechnisch	terreinoppervlak 2.500	m2	1,60	4.009	1	0,0%			
B4E TERREININRICHTING						2.500	ter.o	2,00	5.011	1	0,0%
90.7		Inrichting standaard	terreinoppervlak 2.500	m2	2,00	5.011	1	0,0%			
90.8		Inrichting bijzonder	terreinoppervlak 2.500	m2							

B5 ALGEMENE UITVOERINGSKOSTEN / diversen						2.354.701	356	21,6%
B5A DIVERSE DETAILLERINGEN IN ONTWERP						256.029	39	2,4%
99		Diversen (in voorlopige plannen niet nader gespecificeerd)	3,0%		8.534.299	256.029	39	2,4%

B5B ALGEMENE UITVOERINGSKOSTEN PROJECT						1.054.839	160	9,7%
00		Algemene bouw(plaats)kosten: algemeen o.b.v. percentage	12,0%		8.790.328	1.054.839	160	9,7%
01		Leidinggevend en ondersteunend personeel	6.608	m2				
02		Voorzieningen personeel op de bouwplaats	6.608	m2				
03		Inrichting en beheer van het bouwterrein	6.608	m2				

pagina 4 van de 5

abt

Project : Indicatie installatieconcept EWF Woningbouw					Werkcode : 16589				
Opdrachtgever : Ymere te Amsterdam					Referentie : bkc				
Onderwerp : Raming installatieconcept					Datum : 10-dec-19				
Bestandsnaam : P:\165\16589\01_Documenten ABT\Begrotingen\16589_BEG_Indicatie installatie EWF_V003.xlsm]Raming					Prijspeil : aug-2019				
Versienummer : V003					Adviesgroep : kosten				
elem.	sub	omschrijving	hoev.	ehd.	€ / ehd	totaal	prijs / BVC	perc.	
04		Transport en logistiek incl. arbeids-, verbruiks- en keuringskosten	6.608	m2					
05		Tijdelijke aansluitingen	6.608	m2					
06		Inzet klein materieel	6.608	m2					
07		Bijzondere ABK (specials)	6.608	m2					
B5C COORDINATIEKOSTEN NEVENAANNEMERS									
04		Coördinatiekosten							
B5D ALGEMENE BEDRIJFSKOSTEN (bouwbedrijf)						689.162	104	6,3%	
05		Opslag algemene bedrijfskosten	7,0%		9.845.168	689.162	104	6,3%	
B5E WINST EN RISICO (bouwbedrijf)						316.030	48	2,9%	
06		Opslag winst en risico	3,0%		10.534.330	316.030	48	2,9%	
07		Opslag afkoop risico							
B5F VERZEKERING EN AFRONDING						38.641	6	0,4%	
08		Opslag verzekering	0,35%		10.850.359	37.976	6	0,3%	
09		Afronding	0,0%		10.888.336	664	0	0,0%	

pagina 5 van de 5

Appendix D: Theoretisch kader

Deze appendix geeft achtergrondinformatie over woningventilatie in het algemeen en een mogelijke uitwerking van het EWF-concept in bouwblok 3 van het appartementencomplex Eenhoornterrein Amsterdam. De aangegeven numerieke waarden dienen slechts ter toelichting van het concept en zijn niet gebruikt in de berekeningen.

INHOUDSOPGAVE

- App.D1. Woningventilatie algemeen
 - App.D1.1 Samenvatting
 - App.D1.2 Ventilatiecapaciteit volgens Bouwbesluit
 - App.D1.3 Ventilatieprestatie
 - App.D1.4 Debietregeling
 - App.D1.5 Woonkamers
 - App.D1.6 Slaapkamers
 - App.D1.7 Keukens
 - App.D1.8 Badkamers
- App.D2. Ventilatiesystemen huidige ontwerp
 - App.D2.1 Ventilatie volgens Omgevingsvergunning
 - App.D2.2 Afzuigsysteem Itho Daalderop CO₂ Optima Inside
 - App.D2.3 Vraag gestuurde ventilatie
 - App.D2.4 Afzuig keukens
 - App.D2.5 Zelfregelende roosters
 - App.D2.6 Windinvloed
 - App.D2.7 Tocht bij gevelroosters
 - App.D2.8 Ventilatieprestaties woningtype B
 - App.D2.9 Ventilatieprestaties woningtype D
 - App.D2.10 Ventilatieprestatie versus ventilatiecapaciteit
 - App.D2.11 Gemiddelde ventilatieprestatie
- App.D3. Conceptueel ontwerp EWF-voorzieningen
 - App.D3.1 Samenvatting
 - App.D3.2 EWF-voorzieningen op gebouwniveau
 - App.D3.3 Klimaatresponsieve architectuur
 - App.D3.4 Ventilatie en Energiegebruik
 - App.D3.5 Ventilatie volgens Omgevingsvergunning / Bouwbesluit
 - App.D3.6 Verbeterde ventilatie volgens het EWF-concept
 - App.D3.7 Ventilatievoorzieningen op woningniveau
 - App.D3.8 Capaciteitsregeling
 - App.D3.9 Principeontwerp luchttoevoer- en afzuigkanalen
 - App.D3.10 Gemiddelde ventilatieprestatie
 - App.D3.11 Koeling in de zomerperiode
- App.D4. Referenties

App.D1. Woningventilatie algemeen

App.D1.1 Samenvatting

Luchtverversing in de woningbouw is bedoeld om een gezond binnenmilieu voor de bewoners te realiseren, verspreiding van kookgeuren te beperken en het verlagen van de relatieve vochtigheid in badkamers. De ventilatie moet worden afgestemd op de aanwezigheid van bewoners, hun slaap-waakritme en het variabel gebruik van de verschillende vertrekken. Ventilatie kost ook veel energie en de beperking daarvan met behulp van warmteterugwinning, behoefteafhankelijke regeling of beide is een belangrijke doelstelling. Woningventilatie is daardoor aanzienlijk complexer dan ventilatie in de utiliteitsbouw.

Het Bouwbesluit stelt eisen aan de te installeren ventilatiecapaciteit op basis van het gebruiksoppervlak van ruimten. Deze eisen zijn gebaseerd op een maximum CO₂-concentratie in de ruimte van 1.200 PPM. Dit is een omstreden uitgangspunt; op basis van gezondheidscriteria zou 1.000 PPM een beter uitgangspunt zijn. De ventilatieprestatie, de effectief te realiseren luchtuitwisseling per vertrek, wordt in het Bouwbesluit buiten beschouwing gelaten en juist dit aspect laat in de praktijk veel te wensen over. De effectieve ventilatieprestatie laat daarom in de praktijk vaak veel te wensen over.

Om energie te besparen wordt het ventilatiedebiet vaak behoefteafhankelijk geregeld, handmatig of op basis van de CO₂-concentratie in de woonkamer, hetgeen in slaapkamers dan een aanzienlijke overschrijding van de 1.000 PPM met zich mee kan brengen.

Keukenventilatie wordt meestal gezien als het tegengaan van de verspreiding van geuremissies in de woning. Volgens huidige inzichten brengt de fijnstofproductie (PM_{2,5}) tijdens het koken ook een gezondheidsprobleem met zich mee. Omdat in de moderne woningbouw vaak het woonkamer/keuken concept wordt toegepast moet aan de ventilatie van deze ruimten niet alleen uit comfortoverwegingen maar ook met betrekking tot gezondheid extra aandacht worden besteed. Ventilatie van badkamers heeft als belangrijkste doel het afvoeren van vocht om daardoor schimmelvorming te voorkomen. Regeling van de ventilatieprestatie op basis van de relatieve vochtigheid verdient daarom de voorkeur.

De NEN-normcommissie 351 074 werkt momenteel aan een herziening van de NEN 1087 "Ventilatie van gebouwen - Bepalingsmethoden voor nieuwbouw". Een kritische beschouwing over de betreffende ontwikkeling is recentelijk gepubliceerd. (Bronsema, 2020)

App.D1.2 Ventilatiecapaciteit volgens Bouwbesluit

Het Bouwbesluit stelt eisen aan de te installeren ventilatiecapaciteit (AER_{ref})⁵ maar niet aan de ventilatieprestatie, de te realiseren luchtuitwisseling per vertrek. Aangenomen wordt dat als aan de eisen van het Bouwbesluit is voldaan ook de ventilatieprestatie in orde is. De minimaal te installeren ventilatiecapaciteit volgens Bouwbesluit is aangegeven in tabel 9.

Keuken	Badkamer	Toilet	Utility	Anders	Verblijfsruimte
dm ³ .s ⁻¹	dm ³ .s ⁻¹	dm ³ .s ⁻¹	dm ³ .s ⁻¹	dm ³ .s ⁻¹	dm ³ .(m ⁻² .s ⁻¹)
Referentie AER voor perioden van aanwezigheid (AER _{ref.pres})					
21,0	14,0	7,0	7,0	7,0	0,9
Referentie AER voor perioden van afwezigheid (AER _{ref.abs}) ⁶					
3,15	2,1	1,1	1,1	1,1	0,135

Tabel 9 - Ventilatiecapaciteiten volgens Bouwbesluit

De vermelde waarden zijn afgestemd op het advies van de Gezondheidsraad voor een ventilatieminimum in Nederlandse woningen, waarin per persoon een minimum luchtverversing wordt aanbevolen van 25 m³/h (Gezondheidsraad, 1984). Bij een ventilatiecapaciteit voor verblijfsruimten van 0,9 dm³.(m⁻².s⁻¹) $\equiv$ 3,24 m³.h⁻¹ houdt dit in dat uitgaan is van een vloeroppervlak van (25/3,24) = 7,7 m² per persoon. Voor werkplekken

⁵ In de concept NEN 1087:2020 aangeduid met "Referentie Air Exchange Rate AER_{ref}"

⁶ AER_{ref.abs} $\equiv$ 15% van AER_{ref.pres}

in een kantoorgebouw was dat anno 1984 een acceptabele minimumwaarde, maar voor de woningbouw, met grote verschillen tussen woonkamers en slaapkamers, is dit getal volstrekt irrelevant.

De CO₂-concentratie in de ruimte bij bovenstaande waarde wordt als volgt berekend:

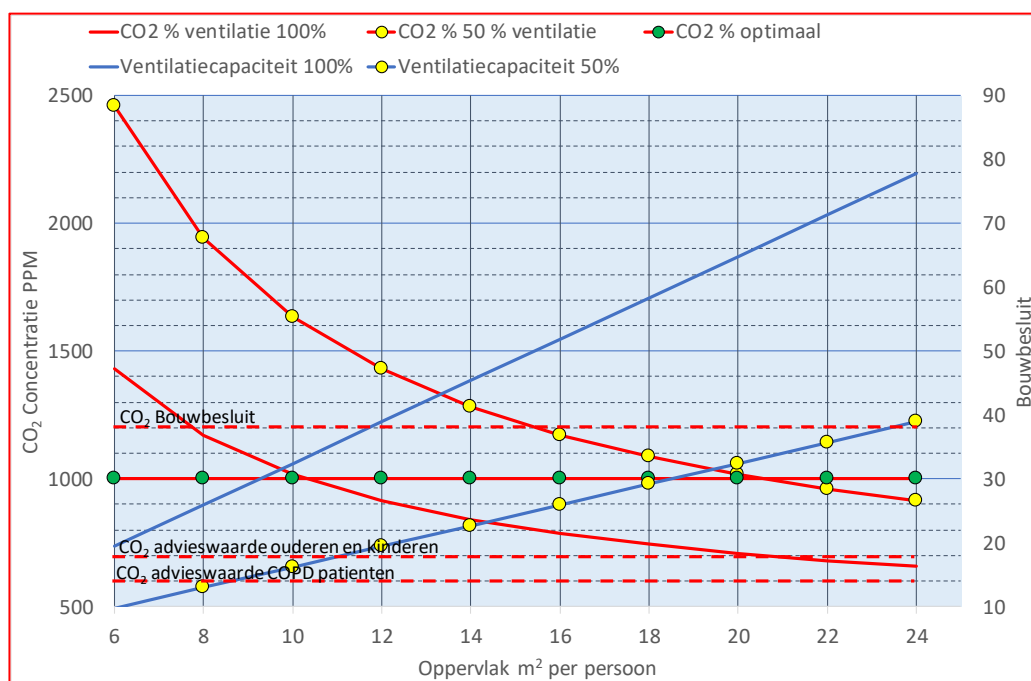
- Gemiddeld ademvolume van 0,5 m³.h⁻¹ per persoon
- Gemiddelde CO₂-concentratie in de ademlucht 4%
- CO₂-productie per persoon (0,5*0,04) = 0,02 m³.h⁻¹
- CO₂-concentratie in de buitenlucht 0,04% (400 PPM)
- CO₂-concentratie in de ruimte (0,02/25 + 0,0004) = 1,2*10⁻³ (1.200 PPM)

Als indicator voor een veilige luchtkwaliteit voor gezonde mensen wordt een CO₂-concentratie van 1.200 PPM algemeen als bovengrens beschouwd. Voor een gezonde luchtkwaliteit wordt een waarde ≤ 1.000 PPM aanbevolen. Voor kinderen <20 jaar en ouderen > 55 jaar geldt een waarde ≤ 700 PPM en voor de meest gevoelige categorie van COPD-patiënten ≤ 600 PPM (ISIAQ-CIB 2003) (TNO 2003). Het lijkt er dan ook op dat bij de introductie van het Bouwbesluit 2012 voorbij is gegaan aan de eisen van een gezond binnenmilieu (TNO 2003) (Roelofsen 2012).

Om een CO₂-concentratie van 1.000 PPM te realiseren zou de luchtverversing moeten worden opgevoerd naar 33,3 m³.h⁻¹ per persoon, een stijging van 33,2%. De ventilatiecapaciteit voor verblijfsruimten gaat in dit geval naar 1,2 dm³.(m⁻².s⁻¹) ≡ 4,32 m³.h⁻¹.

App.D1.3 Ventilatieprestatie

Figuur 17 laat de CO₂-concentratie zien als functie van het vloeroppervlak per persoon bij ventilatie volgens Bouwbesluit.



Figuur 17 - CO₂-concentratie als functie van het vloeroppervlak per persoon bij ventilatie volgens Bouwbesluit

In woonkamers is het beschikbare vloeroppervlak per persoon in het algemeen aanzienlijk groter dan de bovengenoemde 7,7 m², hetgeen inhoudt dat de CO₂ concentratie aanmerkelijk lager zal zijn dan 1.200 PPM. Om te voldoen aan de norm van 1.000 PPM is een vloeroppervlak ≥ 10 m² nodig. Voor ouderen en kinderen zou ca. 20 m² nodig zijn en voor COPD-patiënten nog aanzienlijk meer.

In een tweepersoons slaapkamer van 13 m², de minimum grootte volgens het Bouwbesluit, is het beschikbare vloeroppervlak per persoon 6,5 m², hetgeen inhoudt dat de CO₂-concentratie kan oplopen naar 1.350 PPM, en bij de veel gebruikte terugregeling naar bijvoorbeeld 50% zelfs naar 2.300 PPM.

Woningtype I heeft eenpersoons slaapkamers van 6 m², waarbij de CO₂-concentratie oploopt naar 1.430 PPM. Het Bouwbesluit schiet hier duidelijk tekort.

App.D1.4 Debietregeling

Om te voldoen aan de capaciteitseisen van het Bouwbesluit moet de afzuigventilator op Hoogstand staan. Om energie te besparen kan het ventilatiedebiet op basis van de CO₂ concentratie of met behulp van een standenschakelaar terug worden geregeld. Figuur 17 laat zien wat er met de CO₂-concentraties gebeurt als de ventilator op de Middenstand staat en de capaciteit tot bijvoorbeeld 50% wordt gereduceerd. De CO₂-concentraties komen dan al snel boven de 1.200 PPM uit en de norm van 1.000 PPM is vrijwel onbereikbaar.

App.D1.5 Woonkamers

Alle appartementen van het bouwplan zijn uitgevoerd met woonkamer/keuken. Het meest voorkomende woningtype B (66 van de 100) heeft een woonkamer/keuken van $\approx 18,5$ m² met een ventilatiecapaciteit van $29,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \equiv 106 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ waarbij, met de afzuigventilator van de keuken op hoogstand, een CO₂-concentratie van ≈ 600 PPM wordt gerealiseerd. Buiten de kookperiodes wordt naar een lagere stand teruggestructureerd, bijvoorbeeld 35% met een debiet van $\approx 37 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Bij bewoning door 1 persoon blijft de CO₂-concentratie dan nog beperkt tot ≈ 940 PPM. Bij bewoning door 2 personen loopt deze op naar ≈ 1.450 PPM.

App.D1.6 Slaapkamers

Een goede slaap heeft positieve invloed op de gezondheid, alertheid en stressreductie en daarmee op het welzijn, humeur, dagelijks functioneren en productiviteit van mensen. Slaapproblemen met inherente prestatievermindering op de volgende dag zijn positief gecorreleerd aan de CO₂-concentratie (Strøm-Tejsen et al, 2014). Bij een ventilatiecapaciteit volgens Bouwbesluit zal de CO₂-concentratie beperkt blijven tot 1.200 PPM, maar als i.v.m. energiebesparing de ventilatie wordt verminderd kan deze gemakkelijk oplopen tot 2.500 PPM. Dit wordt bevestigd door figuur 17 die laat zien dat in een eenpersoons slaapkamer van 6 m² in woningtype I bij een ventilatiereductie tot 50% de CO₂-concentratie oploopt tot ≈ 2.450 PPM.

In het zomerseizoen zal men in dat geval allicht een raampje openzetten, als dit tenminste door verkeerslawaai niet onmogelijk wordt gemaakt. In het stookseizoen is deze optie minder waarschijnlijk.

App.D1.7 Keukens

Keukenventilatie wordt meestal gezien als het tegengaan van de verspreiding van geuremissies in de woning. Volgens huidige inzichten brengt de fijnstofproductie (PM_{2,5}) tijdens het koken ook een gezondheidsprobleem met zich mee (Jacobs & Borsboom, 2017) (Jacobs, Belang van kookafzuiging in luchtdichte woningen, 2018). Aan de ventilatie van keukens moet daarom niet alleen uit comfortoverwegingen maar ook met betrekking tot gezondheid extra aandacht worden besteed.

Vroeger was dit probleem minder urgent dan tegenwoordig. De keuken was meestal een afgesloten ruimte was waardoor keukenemissies naar de woonruimte gemakkelijker konden worden beperkt. Na het koken liet men de afzuigkap enige tijd doordraaien waardoor geuremissies werden verdund. Omdat de buitenschil van de woning minder luchtdicht was werden keukenemissies door infiltratie van buitenlucht sneller verdund.

Tegenwoordig wordt veelal het woonkamer/keuken concept toegepast en in het bouwplan Eenhoornterrein komen in het geheel geen gesloten keukens voor. Het is daarom van groter belang keukenemissies direct bij de bron te vangen. Hiervoor is een goede afzuigkap nodig met een voldoende afzuigdebiet.

De meest effectieve afzuigkap is het "schouwmodel", dat alle pannen op het fornuis bedekt, met een minimum afzuigdebiet van $300 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Jacobs, 2018). De ventilatiecapaciteit volgens

Bouwbesluit van $21 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \equiv 75 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ is dus veel te laag voor een effectieve keukenventilatie.

De voorgeschreven afzuigunits Itho Daalderop met een maximumcapaciteit van $415 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ zouden op hoogstand een afzuigdebiet van $300 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ op kunnen brengen. De suppletie van buitenlucht is een probleem, vooral in de kleinere appartementen van het Bouwplan, waar dit in feite alleen maar mogelijk is door een raam open te zetten. Het is de vraag of bewoners dit zullen doen, vooral in het stookseizoen wanneer dit tochtproblemen oplevert.

In ontwikkeling is een hybride afzuigkap die kan worden aangesloten op het mechanische ventilatiesysteem waarbij een debiet van $75 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ volgens Bouwbesluit motorloos wordt afgezogen. Daarnaast kan $235 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ worden afgezogen via een recirculatiesectie met koolfilter, waarmee probleemloos aan bovenstaande eisen wordt voldaan (zie figuur 18). Probleem is nog de geringe effectiviteit voor fijnstof $\text{PM}_{2,5}$, die verbetering behoeft.



Figuur 18 - Duo Logic afzuigkap (ATAG/TNO 2018).

App.D1.8 Badkamers

De vochtproductie in badkamers kan door verdamping, spatwater, drogen van handdoeken etc. aanzienlijk zijn. Als gedurende langere tijd de relatieve vochtigheid hoger is dan 80% kan schimmelvorming optreden. Ventilatie van badkamers heeft daarom als belangrijkste doel het afvoeren van vocht om daardoor schimmelvorming te voorkomen.

Tijdens douchen kan de relatieve vochtigheid in een badkamer snel oplopen naar 100% en deze moet zo snel mogelijk moet worden teruggebracht naar een waarde van bij voorkeur 65%. Bij een ventilatiecapaciteit volgens Bouwbesluit van $14 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ kan dit enkele uren duren. Deze tijdsduur is mede afhankelijk van de in wanden en plafond geabsorbeerde vochthoeveelheid en of met buitenlucht- of met binnenlucht wordt geventileerd (Hasselaar, 2018).

Regeling van de ventilatie in badkamers bij voorkeur te realiseren op basis van de relatieve vochtigheid met behulp van een RV-sensor.

App.D2. Ventilatiesystemen huidige ontwerp

App.D2.1 Ventilatie volgens Omgevingsvergunning

Volgens de omgevingsvergunning d.d. 15 januari 2019 van ABT zijn de appartementen voorzien van individuele ventilatiesystemen op basis van de volgende specificaties:

- Capaciteit volgens Bouwbesluit.
- Ventilatiebalans:
 - Natuurlijke toevoer verblijfsruimten 100% rechtstreeks van buiten.
 - Overstroom naar de gang
 - Toiletruimten en badkamers: mechanische afvoer
 - Keuken: mechanische afvoer minimale capaciteit voor balans
- Ventilatie verblijfsruimten via zelfregelende gevelroosters
- Mechanische afvoer met afzuigunits Itho Daalderop CO₂ Optima Inside.
 - Maximumcapaciteit 415 m³.h⁻¹
 - Capaciteitsregeling woonkamer met CO₂-sensor en geïntegreerde bediening
 - Capaciteitsregeling badkamer met draadloze RFT-auto bediening
- Geen warmteterugwinning.

Tabel 10 geeft een overzicht van de ventilatiecapaciteiten t.b.v. Bouwblok 3, ontleend aan de omgevingsvergunningen bouwen - bouwfysica & brandveiligheid van ABT d.d. 15 januari 2019. De gemiddelde specifieke ventilatiecapaciteit voor bouwblok 3 is $(14.342/4.020) = 3,6$ m³.m⁻².h⁻¹ bij een netto ruimtehoogte van 2,7m overeenkomend met $\approx 1,3$ luchtwisselingen per uur. Deze waarden gelden voor de Hoogstand van de afzuigventilator.

Appartementen Eenhoornterrein Amsterdam - Bouwblok B3 - Ventilatie											
Specifiek		Aantallen					Ventilatie m ³ .h ⁻¹				
type	m ³ .h ⁻¹	b.g.	1e verd.	2e verd.	3e verd.	totaal	b.g.	1e verd.	2e verd.	3e verd.	totaal
A	151				10	10	0	0	0	1510	1510
B	151	8	12	22	12	54	1208	1812	3322	1812	8154
C	234			2	2	4	0	0	468	468	936
D	204	12				12	2448	0	0	0	2448
H	151		2	2	2	6	0	302	302	302	906
I	194	2				2	388	0	0	0	388
Subtotaal		22	14	26	26	88	4.044	2.114	4.092	4.092	14.342
Totaal		88					14.342				

Tabel 10 - Ventilatiecapaciteiten Bouwblok B3 (ABT, 2019).

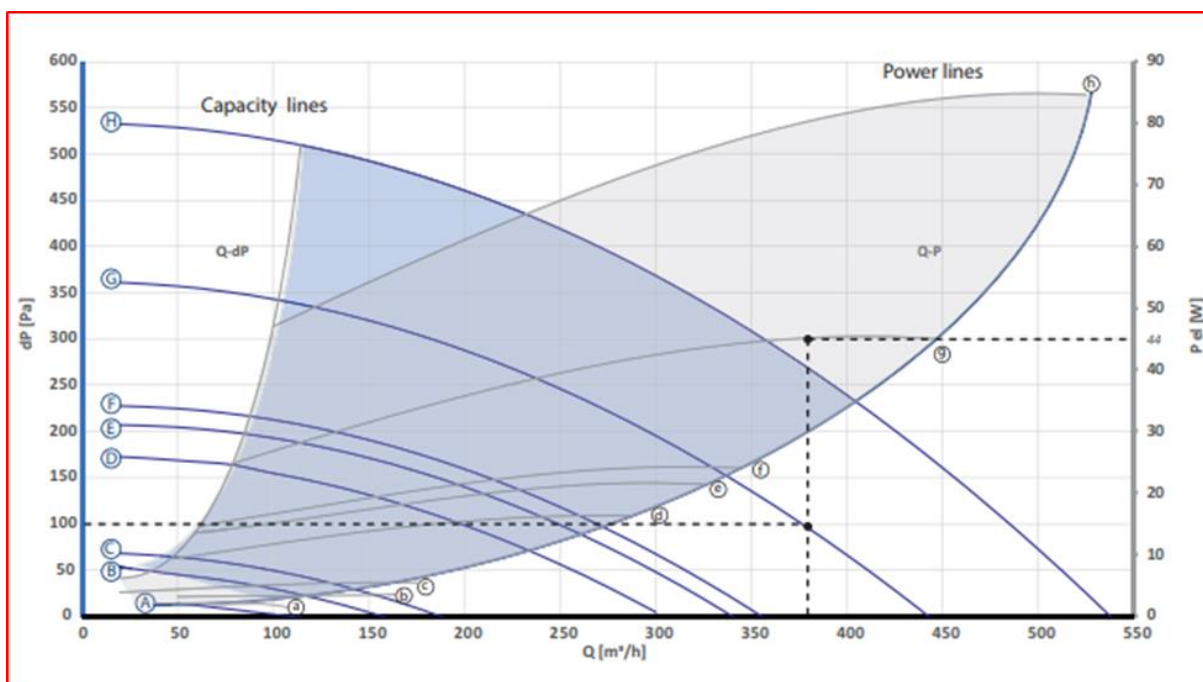
App.D2.2 Afzuigstelsel Itho Daalderop CO₂ Optima Inside

De woonkamer/keuken, badkamer en toiletruimte zijn via luchtkanalen aangesloten op een centraal afzuigstelsel. Afzuiging vindt plaats met behulp van een afzuigunit type CVE-S-ECO. Figuur 19 toont de capaciteitsgrafiek van deze unit⁷.

De capaciteit kan handmatig worden geregeld in 3 standen, per stand in te stellen op het gewenste afzuigdebiet met behulp van een potmeter. Met behulp van een ingebouwde sensor wordt bij een CO₂-concentratie ≥ 950 PPM het afzuigdebiet naar behoefte verhoogd. De capaciteit wordt eveneens opgevoerd als de relatieve vochtigheid een bepaalde waarde overschrijdt.⁸

⁷Ontleend aan het Technisch Productblad CVE-S-ECO van Itho Daalderop.

⁸RV-waarde onbekend



Figuur 19 - Capaciteitsgrafiek afzuigunit CVE-S-ECO.

De ventilatie-unit kan naar behoefte worden ingesteld in één van de volgende standen:

- Stand 1, laagstand: bij aanwezigheid van één persoon overdag of 's nachts of wanneer niemand aanwezig is⁹. Minimum afzuigcapaciteit volgens de leverancier $\approx 75 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.
Als continue ventilatie is deze waarde erg hoog. Beter is uit te gaan van de Referentie AER voor perioden van afwezigheid ($AER_{\text{ref.abs.}}$) volgens paragraaf 3.2 overeenkomend met 15% van de Referentie AER voor perioden van aanwezigheid ($AER_{\text{ref.pres.}}$)
- Stand 2, middenstand: voor overdag of 's nachts bij aanwezigheid van meer dan één persoon. De afzuigcapaciteit is volgens de leverancier $\approx 115 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.
Beter is uit te gaan van de Referentie AER voor perioden van aanwezigheid ($AER_{\text{ref.pres.}}$) exclusief keuken.
- Stand Auto, automatische stand; regeling op basis van aanwezige sensoren (CO_2 , of RV). De capaciteit wordt automatisch geregeld tussen de laagstand en hoogstand.
- Stand 3, hoogstand: voor tijdens het koken, douchen of baden of wanneer veel mensen aanwezig zijn. Deze stand komt overeen met de Referentie AER voor perioden van aanwezigheid ($AER_{\text{ref.pres.}}$) inclusief keuken. Afzuigcapaciteit instelbaar $250 - 375 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

De ventilatie-unit moet door de bewoner op de gewenste stand worden ingesteld, en hier doet zich een keuze probleem voor. Stand 1 is de minimumstand die door de bewoner niet kan worden uitgeschakeld zonder de stekker eruit te trekken, hetgeen in het algemeen minder waarschijnlijk is. De bewoner komt na werktijd altijd in een fris huis binnen, maar er is voor hem/haar geen enkele sensorische prikkel om naar stand 2 te schakelen. CO_2 is een reuk- en geurloos gas dat enkel wordt gebruikt als indicator voor de luchtkwaliteit. Verslechtering van de luchtkwaliteit door te weinig ventilatie wordt niet opgemerkt door adaptatie van het menselijk reukorgaan. Het is daarom hoogstwaarschijnlijk dat de ventilatie-unit in veel gevallen op stand 1 blijft draaien. Hier komt nog bij dat mensen uit zuinigheidsoverwegingen geneigd zijn energie te besparen door weinig te ventileren. Stand 2 zal daarom waarschijnlijk enkel door bewuste bewoners worden ingeschakeld. Hetzelfde geldt voor de Stand Auto. Alleen instelling op stand 3 tijdens koken is daarentegen min of meer een automatische intuïtieve handeling, omdat anders de kookgeuren zich door de woonkamer/keuken zullen verspreiden.

⁹Men zou dit "Continue ventilatie" of "Dauerlüftung" kunnen noemen.

Bij het gekozen centrale afzuigsysteem wordt de capaciteit centraal en niet per afzuigpunt geregeld. Verhoging van de capaciteit komt dus ten goede aan alle afzuigpunten. Bij het CO₂ Optima Inside systeem zijn de CO₂- en de RV-sensoren in de unit aangebracht, hetgeen betekent dat altijd verdunde concentraties worden gemeten. Capaciteitsregeling per ruimte is bij dit systeem dus niet mogelijk. Een (te) hoge CO₂-concentratie in de woonkamer/keuken of in de slaapkamer wordt door de verdunning maar beperkt geregistreerd. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van tabel 11 voor woning type B.

Ruimte		Woonkamer/keuken	Slaapkamer	Afzuigunit
Aantal personen →		2	2	2
AER-stand 1	m ³ .h ⁻¹	14	11	25
CO ₂ -concentratie	PPM	3255	4035	2000
AER-stand 1 alt/a	m ³ .h ⁻¹	28	22	50
CO ₂ -concentratie	PPM	1830	2220	1200
AER-stand 1 alt/b	m ³ .h ⁻¹	53	22	75
CO ₂ -concentratie	PPM	1155	2220	935
AER-stand 2	m ³ .h ⁻¹	65	50	115
CO ₂ -concentratie	PPM	1015	1200	750
AER-stand 3	m ³ .h ⁻¹	106	45	151
CO ₂ -concentratie	PPM	775	1290	665

Tabel 11 - Ventilatie en CO₂-concentraties in woning type B (eigen tabel).

AER-stand 1 met 25 m³.h⁻¹

Bij aanwezigheid van 2 personen loopt de CO₂-concentratie snel op. Voor de bewoner zou dit reden kunnen zijn op stand 2 over te schakelen, maar door adaptatie aan de verslechterende luchtkwaliteit kan dit geruime tijd duren.

AER-stand 1 met 50 m³.h⁻¹

Deze stand geeft enige, maar geen substantiële verbetering

AER-stand 1 met 75 m³.h⁻¹

Dit is de door de leverancier voorgestelde stand. In de slaapkamer kan de CO₂-concentratie oplopen tot 2220 PPM, hetgeen door de CO₂-sensor in de afzuigunit niet wordt gedetecteerd omdat deze is ingesteld op 950 PPM.

AER-stand 2 met 115 m³.h⁻¹

De CO₂-concentraties lopen op tot > 1000 PPM, maar in de afzuigunit wordt slechts 750 PPM gemeten. Zelfs al de Stand Auto zou worden ingeschakeld heeft dit geen effect op de CO₂-concentratie in de woonkamer en de slaapkamer.

AER-stand 3 met 151 m³.h⁻¹

De CO₂-concentratie in de slaapkamer kan oplopen tot 1290 PPM, maar in de afzuigunit wordt slechts 665 PPM gemeten. Zelfs op de hoogste stand functioneert het systeem niet naar behoren.

App.D2.3 Conclusies

Het systeem met CO₂ Optima Inside functioneert niet naar behoren, vooral niet in de slaapkamers, waar hoge CO₂-concentraties kunnen ontstaan. Verbetering zou mogelijk zijn door:

- AER-Stand 2 automatisch in te schakelen op basis van een aanwezigheidssensor.
- CO₂-sensoren niet in de afzuigunit maar in de ruimte te plaatsen.
- Toepassing van vraag gestuurde ventilatie → paragraaf App.D2.3

App.D2.4 Vraag gestuurde ventilatie¹⁰

Bij vraag gestuurde ventilatie wordt elke ruimte via een separaat afzuigkanaal met elektrische regelklep op de afzuigunit aangesloten. De regelkleppen worden geactiveerd door een CO₂-sensor in de afzuigunit die met behulp van een *sampling* systeem continue de CO₂-concentratie in elke ruimte monitort en via de regelklep de voor de betreffende ruimte benodigde ventilatiecapaciteit regelt (Itho Daalderop). Ook kan elke aansluiting worden voorzien van separate CO₂-sensoren (DUCO). Bij een stijgende CO₂-concentratie wordt de ventilatiecapaciteit verhoogd vice versa en bij afwezigheid van personen gereduceerd naar 15% van de nominale capaciteit¹¹. De aansluiting van de badkamer wordt voorzien van een RV-sensor i.p.v. een CO₂-sensor.

Bij vraag gestuurde ventilatie wordt de luchtverversing dus afgestemd op de bezetting van de ruimte en niet op het oppervlak daarvan. Omdat niet meer wordt geventileerd dan strikt noodzakelijk wordt niet alleen te allen tijde en in elk vertrek de gewenste luchtkwaliteit gerealiseerd, maar ook energie bespaard. De hogere installatiekosten zijn de belangrijkste belemmering voor de toepassing van dit superieure systeem.

App.D2.5 Afzuig keukens

Voor een effectieve afzuigkap is een minimum afzuigdebiet nodig van 300 m³.h⁻¹ (zie paragraaf App.D1.7). Als de afzuigunit op hoogstand 375 m³.h⁻¹ levert - zie figuur 20, waarvan minimaal 50 m³.h⁻¹ ten goede komt aan de badkamer en 25 m³.h⁻¹ aan de toiletruimte, zou in principe een debiet van 300 m³.h⁻¹ voor de keuken kunnen worden gerealiseerd. Omdat het een centraal systeem betreft wordt een deel van de extra capaciteit via badkamer en toilet afgezogen, ten koste van het effectieve afzuigdebiet in de keuken. Dit effect kan worden verminderd door een hoge regelautoriteit van de afzuigventielen en een zo laag mogelijk drukverlies van de toe te passen afzuigkap.

De suppletie van buitenlucht bij een dergelijk hoog afzuigdebiet is een probleem, vooral in de kleinere appartementen van het Bouwplan, waar dit in feite alleen maar mogelijk is door een raam open te zetten. Het is de vraag of bewoners dit zullen doen, vooral in het stookseizoen wanneer dit tochtproblemen oplevert. Met behulp van een hybride afzuigkap kan dit probleem worden opgelost (zie paragraaf App.D2.7).

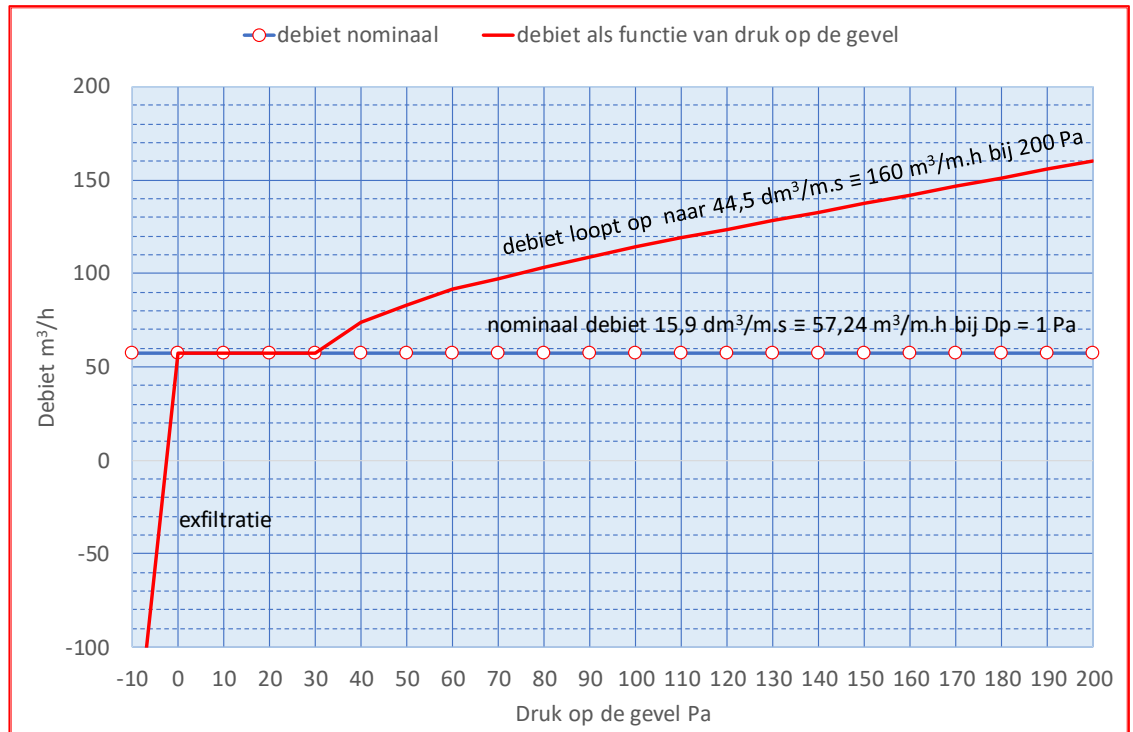
App.D2.6 Zelfregelende roosters

Figuur 20 toont de regelkarakteristiek van een zelfregelend gevelrooster fabricaat DUCO, type GlasMax 10 ZR, nominale capaciteit 15,9 dm³/ms bij 1 Pa. De capaciteit blijft tot $\approx$ 30 Pa redelijk constant, maar loopt bij hogere drukken op tot 44,5 dm³/ms bij 200 Pa. De roosters hebben wel de wettelijk vereiste tussenstanden, waardoor ze bij hogere drukken kunnen worden geknepen. Boven 100 Pa wordt geadviseerd het rooster te sluiten.

De roosters zijn niet voorzien van een terugslagklep, waardoor bij onderdruk op de gevel exfiltratie op kan treden.

¹⁰Demand Controlled Ventilation DCV

¹¹AER_{ref.abs} $\equiv$ 15% van AER_{ref.pres}



Figuur 20 - Ventilatiecapaciteit DUCO gevelrooster GlasMax 10 ZR als functie van de winddruk op de gevel.

App.D2.7 Windinvloed

De winddruk is evenredig met de dynamische druk volgens de wet van Bernoulli

$$p_d = 0,5 \rho \cdot U_{(z)}^2$$

Waarin:

- p_d = dynamische druk [Pa]
- ρ = dichtheid van de lucht [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
- $U_{(z)}$ = windsnelheid op hoogte z [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

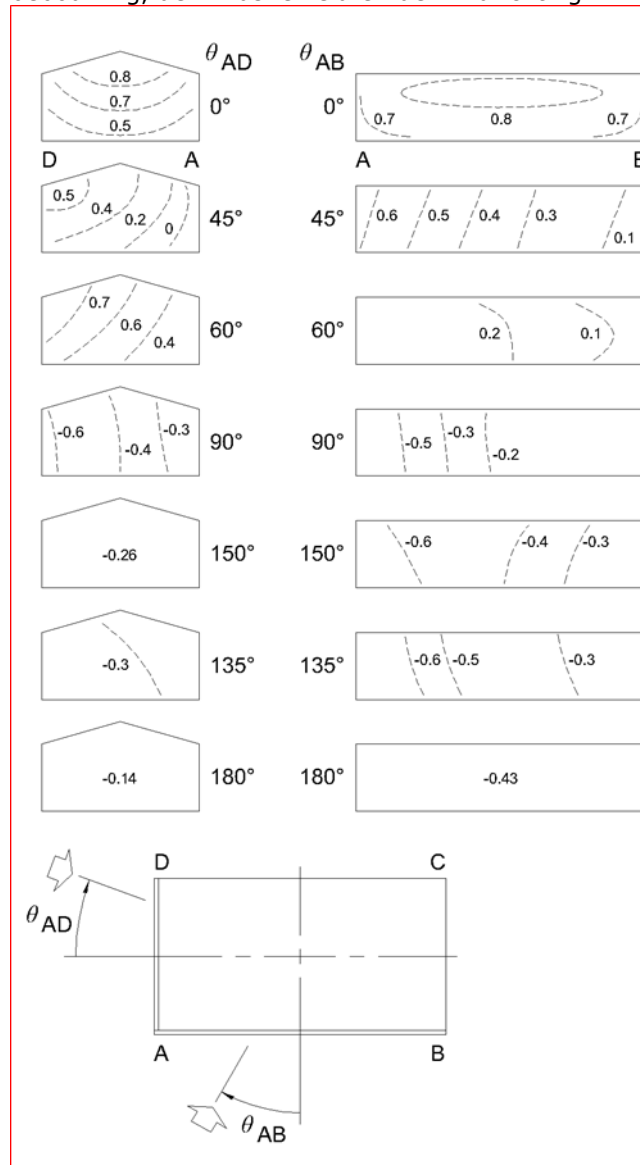
Het verschil tussen de druk p_s op het gebouw en de plaatselijke atmosferische druk op hetzelfde niveau in de ongestoorde wind wordt uitgedrukt met de formule

$$p_s = C_p \cdot p_d$$

Waarin:

- C_p = winddrukcoëfficiënt, gedefinieerd als de fractie van de dynamische winddruk die wordt uitgeoefend op gevels en daken van gebouwen bij een bepaalde windrichting.

Winddrukcoëfficiënten worden beïnvloed door vele parameters, waaronder de geometrische verhoudingen van gebouwen, de detaillering van de gevel, de mate van beschutting door omliggende bebouwing, de windsnelheid en de windrichting.



Figuur 21 - Winddrukcoëfficiënten volgens ASHRAE

Figuur 21 geeft een globaal beeld van de winddrukcoëfficiënten voor een rechthoekig gebouw bij verschillende windrichtingen (ASHRAE, 1999). De figuur toont de kopgevel en langsgevel van een gebouw bij verschillende windrichtingen.

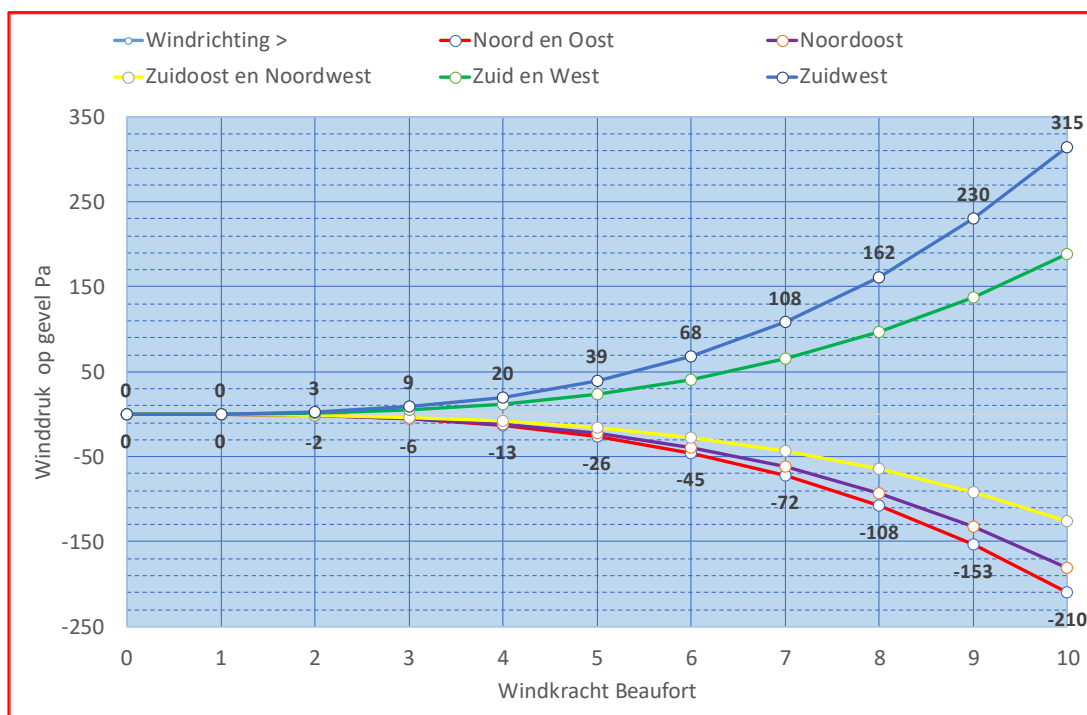
Voorbeeld 1

De wind staat loodrecht op de langsgevel A-B van het gebouw ($\theta_{AB} = 0^\circ$). De C_p -waarde op deze gevel is $\approx 0,7-0,8$. Aan de lijzijdige langsgevel met $\theta_{AB} = 180^\circ$ heerst dan met $C_p \approx -0,43$ onderdruk. Aan de kopgevels met $\theta_{AD} = 90^\circ$ heerst dan met $C_p \approx -0,3 \dots -0,6$ eveneens onderdruk.

Voorbeeld 2

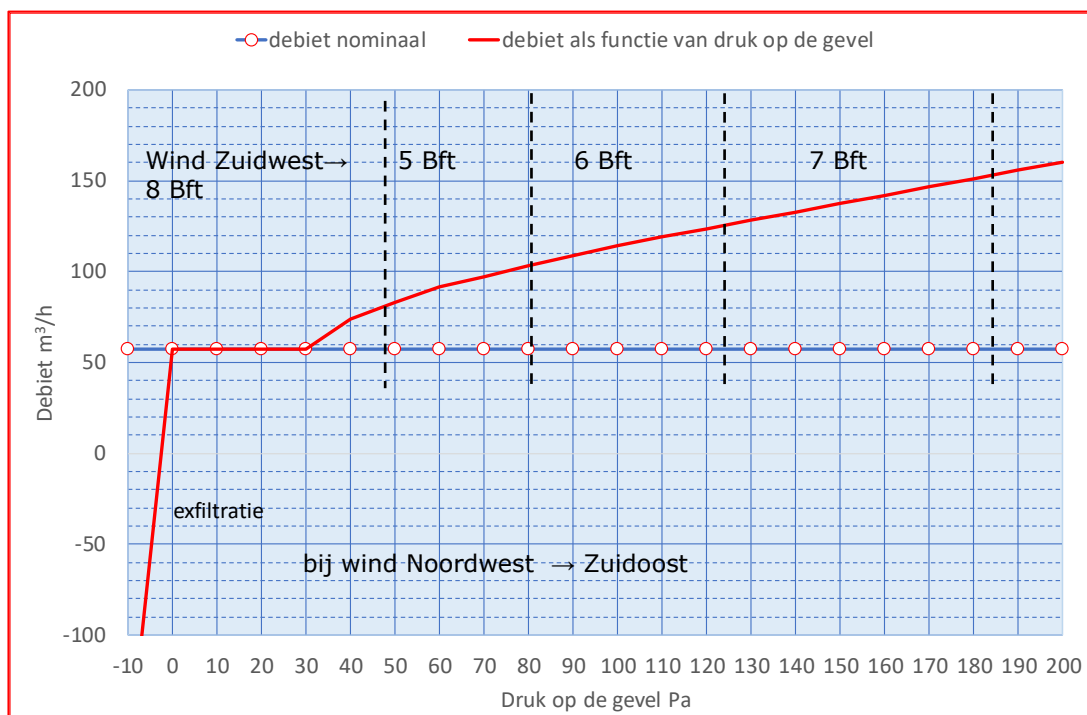
De wind staat loodrecht op de kopgevel AD van het gebouw ($\theta_{AD} = 0^\circ$). De C_p -waarde op deze gevel is $\approx 0,5-0,8$. Aan beide zijgevels met $\theta_{AB} = 90^\circ$ heerst dan met $C_p \approx -0,5 \dots -0,2$ onderdruk.

Figuur 22 brengt de volgens deze methodiek berekende winddrukken in beeld op de Zuidwestgevel van Bouwblok 3.



Figuur 22- Winddrukken op Zuidwest gevel Bouwblok 3 als functie van windrichting en windkracht

In figuur 23 zijn de winddrukken van figuur 22 geprojecteerd in de capaciteitsgrafiek van figuur 20.

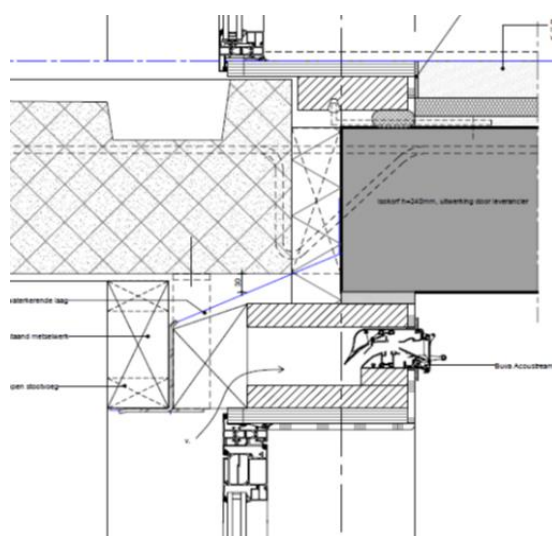


Figuur 23 - Ventilatiecapaciteit DUCO gevelrooster GlasMax 10 ZR

Bij zuidwestenwind zal vanaf windkracht 4 à 5 Bft in toenemende mate overventilatie plaatsvinden, die door de bewoners handmatig zal moeten worden gecorrigeerd. Exfiltratie van ventilatielucht vindt plaats bij windrichtingen vanaf Noordwest → Zuidoost. De invloed van het ventilatiesysteem op de luchtstromingen is mede afhankelijk van de luchtdichtheid van de woning en is moeilijk in te schatten.

App.D2.8 Tocht bij gevelroosters

Om tochtklachten in het winterseizoen te voorkomen moet de lucht vlak onder het plafond en met een snelheid $\geq 1,0 \text{ m.s}^{-1}$ aan de ruimte worden toegevoerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het Coanda of Kleefeffect, waardoor de koude lucht tegen het plafond blijft "kleven" en zich hier goed kan mengen met de ruimtelucht¹². Door de tochtvrije luchttoevoer zullen bewoners in de praktijk geen behoefte hebben de gevel roosters dicht te zetten.



Figuur 24 - Inbouwdetail gevelrooster

Figuur 24 is een inbouwdetail van de gevelroosters. Het GlasMax 10 ZR van DUCO heeft een nominale capaciteit $15,9 \text{ dm}^3/\text{ms}$. Het frontoppervlak van het rooster is bij een hoogte van $\approx 60 \text{ mm} \approx 0,06 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ hetgeen betekent dat de inblaassnelheid op Hoogstand van de afzuigventilator $\leq 0,3 \text{ m.s}^{-1}$ is en op Middenstand $\leq 0,15 \text{ m.s}^{-1}$. Koude ventilatielucht zal hierdoor vlak achter het rooster naar beneden vallen en tocht veroorzaken. Met behulp van een spoiler zou dit probleem kunnen worden opgelost, waardoor dichtzetten van de roosters wordt voorkomen, en een goede ventilatie gewaarborgd blijft (Pijnenborgh, 2018).

De luchttoevoer door de gevelroosters in de bouwblokken 3 en 4 voldoen niet aan de genoemde voorwaarden, waardoor tochtklachten in de winterperiode zullen optreden. Bewoners zullen hierdoor geneigd zijn de roosters te sluiten, met als gevolg onvoldoende ventilatie.

App.D2.9 Ventilatieprestaties woningtype B

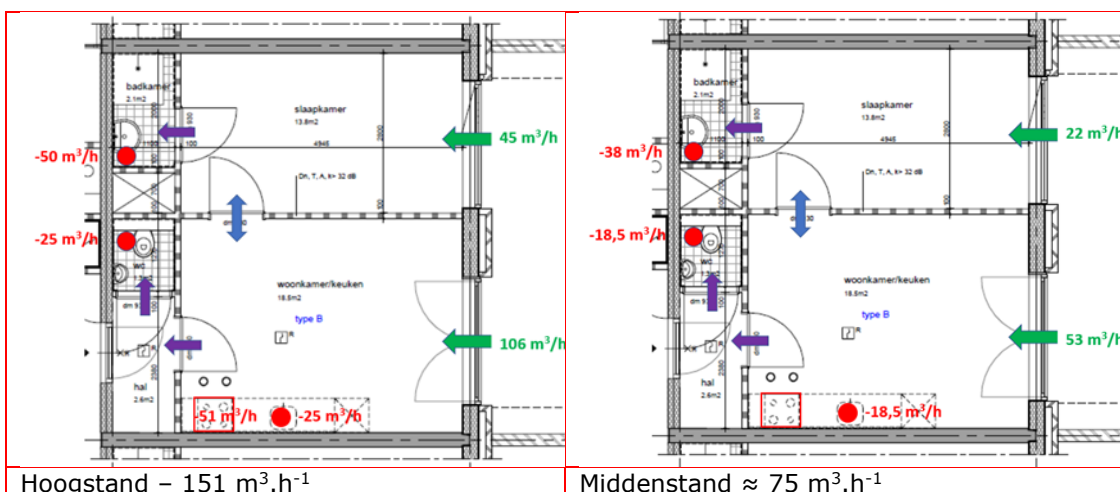
Het meest voorkomende woningtype is type B. Figuur 25 toont de ventilatiecapaciteitsberekening in overeenstemming met de omgevingsvergunning.

¹² Voor de wetenschappelijke achtergronden van dit concept zie ook (Van den Engel, 1995)

ventilatiecapaciteitsberekening conform NEN 1087									
WONINGTYPE B									
ventilatiesysteem:	oppervlak	aanvoerrooster		afvoerrooster		overstroom*	ventilatirooster		
natuurlijke toevoer - mechanische afvoer		eis	aanwezig	eis	anwezig	capaciteit	roostertype	min. rooster-	
ruimte	[m ²]	[dm ³ /s]	rooster	totaal	[dm ³ /s]	[dm ³ /s]	deur	[-]	lengte
verblijfsgebied 1	18,55	16,7		29,6	21,1				
Woonkamer/keuken	18,55	13,0	29,6	29,6	21,0	21,1	-8,5	102	IVA Acoustream 14,
			0	0					2,19
verblijfsgebied 2	13,85	12,5		12,5					
Slaapkamer	13,85	9,7	12,5	12,5			-12,5	150	IVA Acoustream 14,
			0	0					0,92
* negatief (-) betekent dat de ventilatiestroom uit het verblijfsgebied/-ruimte stroomt; positief betekent dat de ventilatiestroom naar het verblijfsgebied/-ruimte toestroomt									
overge ruimten		aantal	eis	aanwezig per	totaal	A _{speel} deur			
		[-]	[dm ³ /s]	ruimte [dm ³ /s]	[dm ³ /s]	[cm ²]			
toilet		1	7,0	7,0	7,0	84			
badkamer		1	14,0	14,0	14,0	168			
			0	0	0				
			0	0	0				
totaal			42,1	dm ³ /s	42,1	dm ³ /s			
			151	m ³ /h	151	m ³ /h			

Figuur 25 - Ventilatiecapaciteitsberekening Woningtype B volgens omgevingsvergunning

In figuur 26 is de ventilatiebalans weergegeven voor respectievelijk Hoogstand en Middenstand. Uitgegaan is van een constante afzuigcapaciteit in toilet en badkamer.



Figuur 26 - Ventilatiebalans Woningtype B

De hoogstand 3 wordt gebruikt tijdens koken, douchen, of wanneer veel mensen aanwezig zijn. De afzuigkap in de kookhoek is hierbij geactiveerd. Op deze stand worden de luchtdebieten per afzuigpunt ingeregeld. De middenstand 2 wordt overdag en 's nachts gebruikt bij aanwezigheid van ≥ 1 persoon. Bij 2 personen en een CO₂-concentratie ≤ 950 PPM is een capaciteit van ≈ 75 m³.h⁻¹ nodig. Bij gesloten afzuigkap wordt de beschikbare capaciteit over de afzuigpunten in woonkamer/keuken, toilet, en badkamer verdeeld. Bij aanwezigheid van 1 persoon in de woonkamer/keuken wordt bij een ventilatiedebiet van 53 m³.h⁻¹ een CO₂-concentratie van ≈ 775 PPM gerealiseerd. Bij aanwezigheid van 2 personen wordt de CO₂-concentratie ≈ 1.150 PPM. Bij stand "Automatisch" zou de ventilator intermitterend naar Hoogstand op een CO₂-setpoint van ≈ 950 PPM. De CO₂-sensor is echter in de afzuigunit ingebouwd, en de daar gemeten concentratie is $(53 \cdot 1.150 + 22 \cdot 400) / 75 \approx 930$ PPM. Deze ingreep heeft dus geen effect.

Met een CO₂-sensor in de woonkamer/keuken wordt op stand Automatisch de ventilatie unit naar Hoogstand geschakeld waardoor de CO₂-concentratie in deze ruimte weliswaar op 950 PPM wordt gehouden, maar de slaapkamer wordt dan overgeventileerd.

Een deel van de aan de woonkamer/keuken toegevoerde ventilatielucht, $(53 - 2 \cdot 18,5) = 16 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ wordt via de slaapkamer naar de badkamer afgezogen. Bij aanwezigheid van 1 persoon in de slaapkamer wordt bij een ventilatiedebiet van $38 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ een CO_2 -concentratie van $\approx 955 \text{ PPM}$ gerealiseerd. Bij aanwezigheid van 2 personen wordt de CO_2 -concentratie $\approx 1.510 \text{ PPM}$. Bij stand "Automatisch" zou de ventilator intermitterend naar Hoogstand gaan op een CO_2 -setpoint van $\approx 950 \text{ PPM}$. De in de ventilatorunit gemeten CO_2 -concentratie is echter $(38 \cdot 1.510 + 37 \cdot 400) / 75 \approx 960 \text{ PPM}$. Deze ingreep heeft dus weinig effect.

Met een CO_2 -sensor in de slaapkamer wordt op stand Automatisch de ventilatie unit naar Hoogstand geschakeld waardoor de CO_2 -concentratie in deze ruimte uiteraard op 950 PPM wordt gehouden. De woonkamer/keuken wordt dan echter overgeventileerd.

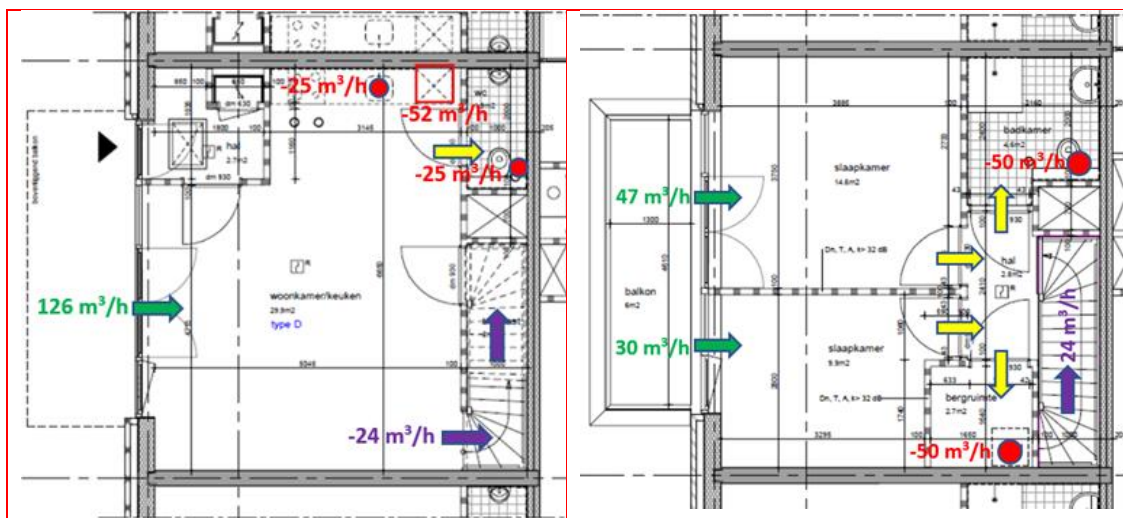
De laagstand 1 wordt gebruikt bij aanwezigheid van 1 persoon en/of voor continue ventilatie (*Dauerlüftung*). De minimum capaciteit volgens Bouwbesluit is 15% van $151 \approx 25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. De CO_2 -concentratie loopt hierbij op naar 1.200 PPM . Als de automatische stand is ingeschakeld op CO_2 -concentratie wordt de ventilatorcapaciteit hierbij verhoogd naar de Middenstand.

App.D2.10 Ventilatieprestaties Woningtype D

Woningtype D is een grotere woning met een aantal van 12 in het Bouwplan. Figuur 27 toont de ventilatiecapaciteitsberekening conform de omgevingsvergunning.

ventilatiecapaciteitsberekening conform NEN 1087									
WONINGTYPE D									
ventilatiesysteem:		aanvoerrooster			afvoerrooster			overstroom*	
natuurlijke toevoer - mechanische afvoer	oppervlak [m ²]	eis	aanwezig		eis	aanwezig		capaciteit	A _{spleet} deur
		[dm ³ /s]	rooster	totaal	[dm ³ /s]	[dm ³ /s]	[dm ³ /s]	[dm ³ /s]	[cm ²]
ruimte									
verblijfsgebied 1	34,12	30,7		35,0			21,5		
Woonkamer/keuken	34,12	23,9	35,0	35,0	21,0	21,5	-13,5	162	IVA Acoustream 14,
				0					
verblijfsgebied 2	9,33	8,4		8,4					
Slaapkamer klein	9,33	7,0		8,4			-8,4	101	IVA Acoustream 14,
				0					
verblijfsgebied 3	14,60	13,1		13,1					
Slaapkamer groot	14,60	10,2		13,1			-13,1	158	IVA Acoustream 14,
				0					
* negatief (-) betekent dat de ventilatiestroom uit het verblijfsgebied/-ruimte stroomt; positief betekent dat de ventilatiestroom naar het verblijfsgebied/-ruimte toestroomt									
overige ruimten			aantal	eis		aanwezig per		totaal	A _{spleet} deur
			[-]	[dm ³ /s]		ruimte [dm ³ /s]		[dm ³ /s]	[cm ²]
toilet			1	7,0		7,0		7,0	84
badkamer			1	14,0		14,0		14,0	168
berging > 2,5 m ² en opstelplaat voor wasmachine			1	14,0		14,0		14,0	168
				0		0			
totaal									
					56,5	dm ³ /s		56,5	dm ³ /s
					204	m ³ /h		204	m ³ /h

Figuur 27 - Ventilatiecapaciteitsberekening Woningtype D volgens omgevingsvergunning

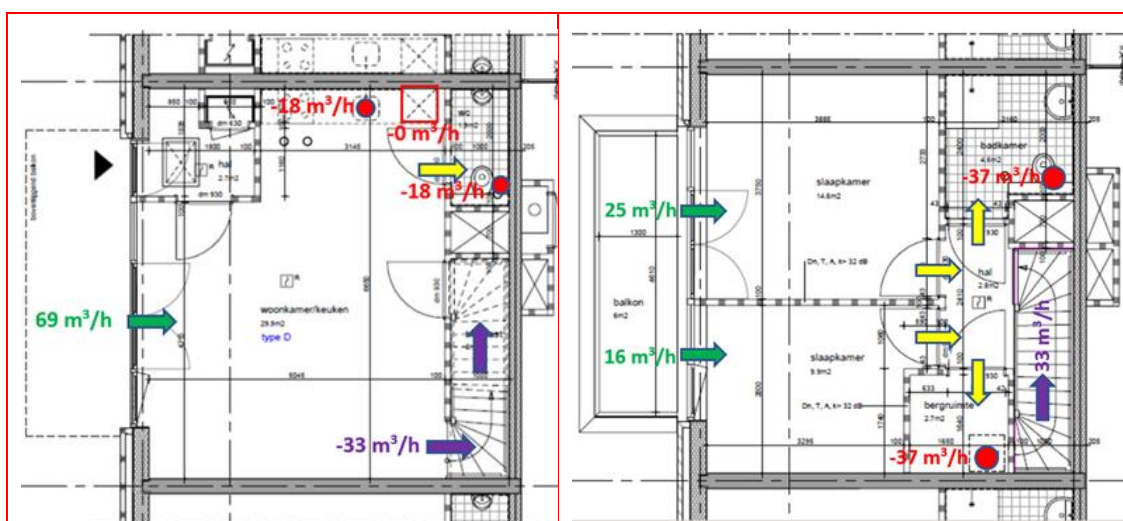


Figuur 28 - Ventilatiebalans Woningtype D op hoogstand

De hoogstand 3 wordt gebruikt tijdens koken, douchen, of wanneer veel mensen aanwezig zijn. De afzuigkap in de kookhoek is hierbij geactiveerd. Op deze stand worden de luchtdebieten per afzuigpunt ingeregeld.

De middenstand 2 wordt overdag en 's nachts gebruikt bij aanwezigheid van 3 personen. Bij een CO₂-concentratie ≤ 950 PPM is een capaciteit van $\approx 110 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ nodig. Bij gesloten afzuigkap wordt de beschikbare capaciteit over de afzuigpunten in woonkamer/keuken, toilet, en badkamer verdeeld (zie figuur 29).

Bij aanwezigheid van 2 personen wordt in de woonkamer/keuken bij een ventilatiedebiet van $69 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ een de CO₂-concentratie ≈ 980 PPM gerealiseerd. Bij 3 personen wordt de CO₂-concentratie ≈ 1.270 PPM. Bij stand "Automatisch" zou de ventilator naar Hoogstand gaan op een CO₂-setpoint van ≈ 950 PPM. De CO₂-sensor is echter in de afzuigunit ingebouwd, en de daar gemeten concentratie is $(69 \cdot 1.270 + 41 \cdot 400) / 110 \approx 945$ PPM. Deze ingreep heeft dus geen effect.



Figuur 29 - Ventilatiebalans Woningtype D op middenstand

Met een CO₂-sensor in de woonkamer/keuken wordt op stand Automatisch de ventilatie unit naar Hoogstand geschakeld waardoor de CO₂-concentratie in deze ruimte weliswaar op 950 PPM wordt gehouden, maar de slaapkamers worden dan overgeventileerd. In de kleine slaapkamer wordt bij een ventilatiedebiet van 16 m³.h⁻¹ een CO₂-concentratie ≈ 1.650 PPM gerealiseerd. In de grote slaapkamer loopt bij een ventilatiedebiet van 25 m³.h⁻¹ en 2 personen de CO₂-concentratie op naar ≈ 2.000 PPM.

Geconcludeerd kan worden dat bij de geïnstalleerde ventilatiecapaciteit volgens Bouwbesluit de gerealiseerde ventilatieprestatie onvoldoende is.

App.D2.11 Ventilatieprestatie versus ventilatiecapaciteit

Deze conclusie wordt bevestigd door een onderzoek van ISSO, waaruit blijkt dat de eisen voor ventilatie in gebouwen uit het Bouwbesluit volgens bepalingmethode NEN 1087 vaak geen garantie geven voor goede ventilatie. *"Met de gebruikelijke ventilatiesystemen in woningen volstaat de luchtverversing zo'n 25% van de tijd niet bij aanwezigheid van personen. Vooral in slaapkamers zien we zelfs uitschieters van circa 40% van de verblijfstijd. Dit soort inzichten hebben in 2016 geleid tot een plan van aanpak voor herziening van ventilatienormen NEN 1087 en NEN 8087. De nieuwe bepalingmethoden zien toe op voldoende luchtstromen in alle vertrekken, zoals gesteld in de Bouwregelgeving. Een tweede doelstelling is om de overheid te adviseren over het aanpassen en uitbreiden van de minimale eisen in de Bouwregelgeving. Dat gaat vooral om de gewenste ventilatiestromen in de slaapkamer en de keuken"* (ISSO INFO april 2019).

App.D2.12 Gemiddelde ventilatieprestatie

De gemiddelde ventilatieprestatie kan globaal worden geraamd op basis van de bedrijfstijden op de 3 ventilatiestanden:

Werkdagen:

▪ Hoogstand- koken – douchen	1,5 uur per dag op 100%
▪ Middenstand	11,0 uur per dag op 50%
▪ Laagstand	11,5 uur per dag op 20%

Weekends:

▪ Hoogstand- koken – douchen	1,5 uur per dag op 100%
▪ Middenstand	18,5 uur per dag op 50%
▪ Laagstand	4 uur per dag op 20%

Totaal per week:

Hoogstand	7*1,5	= 10,5 uur op 14.342 m ³ .h ⁻¹
Middenstand	(5*11)+(2*18,5)	= 92,0 uur à (0,5*14.342) = 7.171 m ³ .h ⁻¹
Laagstand	(5*11,5) + (2*4)	= 65,5 uur à (0,2*14.342) = 2.868 m ³ .h ⁻¹

Gemiddeld $[(10,5*14.342)+(92*7.171)+(65,5*2.868)]/(7*24) \approx 5.940 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$

Gemiddelde ventilatieprestatie $\equiv (5.940/14.342) \approx 40\%$ van de ventilatiecapaciteit.

Voor de berekening van de energieprestaties wordt uitgegaan van een gemiddelde ventilatieprestatie van afgerond 6.000 m³.h⁻¹.

App.D3. Conceptueel ontwerp EWF-voorzieningen

App.D3.1 Samenvatting

Het EWF-concept omvat in hoofdzaak een klimaatcascade voor collectieve toevoer van geconditioneerde lucht en een zonneshoorsteen voor het afzuigen van lucht en oogsten van zonnewarmte. Het aerodynamische Ventecdak kan in principe een bijdrage leveren aan het luchttransport, maar door de lage gemiddelde windsnelheid op het dakniveau van bouwblok 3 is dit geen kosteneffectieve investering.

Bij het EWF-concept wordt een gebouw architecturaal ontworpen als klimaatmachine. Bij het ontwerp van de appartementen Eenhoorterrein is dit uitgangspunt niet aan de orde geweest, en zullen de EWF-voorzieningen moeten worden afgestemd op het gegeven architecturaal en bouwkundig ontwerp. Als zodanig kan het project echter een interessante casus vormen voor het implementeren van het EWF-concept bij renovaties van bestaande wooncomplexen t.b.v. toekomstbestendige en energie neutrale appartementen.

Capaciteitsregeling pakt onder het regime van het huidige Bouwbesluit in het algemeen slecht uit, met name in de slaapkamers (zie paragraaf App.D2.3) Het ontwerp gaat daarom uit van een constante ventilatie capaciteit. Bij afwezigheid van de bewoner tijdens werktijden en vakantieperioden, is ventilatie niet nodig en wordt met behulp van een debietregelaar per woning overgeschakeld op een minimum ventilatie capaciteit.

Oververhitting van de appartementen in de zomerperiode wordt voorkomen door deze debietregelaar bij overschrijding van een bepaalde ruimtetemperatuur open te sturen waardoor de natuurlijke airconditioning in werking treedt, ook bij afwezigheid van de bewoner. Aan de hand van enkele schetsen wordt een indruk gegeven van het conceptueel ontwerp van het EWF-concept, zowel op gebouw niveau als op woningniveau.

App.D3.2 EWF-voorzieningen op gebouwniveau

Het EWF-concept omvat:

- Klimaatcascade voor de collectieve toevoer en conditionering van de ventilatielucht;
- Zonneshoorsteen voor het afzuigen van de lucht en het oogsten van zonnewarmte;
- Ventecdak (facultatief) voor luchttoevoer via de overdrukruimte en luchtafzuig via de venturi-ejector. Door de geringe hoogte van het bouwblok en de inherente lage gemiddelde windsnelheid ter plaatse is de bijdrage van het Ventecdak aan het luchttransport gering. Gezien de hoge kosten van het dak en de geringe kosteneffectiviteit wordt het Ventecdak in de navolgende planontwikkeling niet meer in beschouwing genomen.

App.D3.3 Klimaatresponsieve architectuur

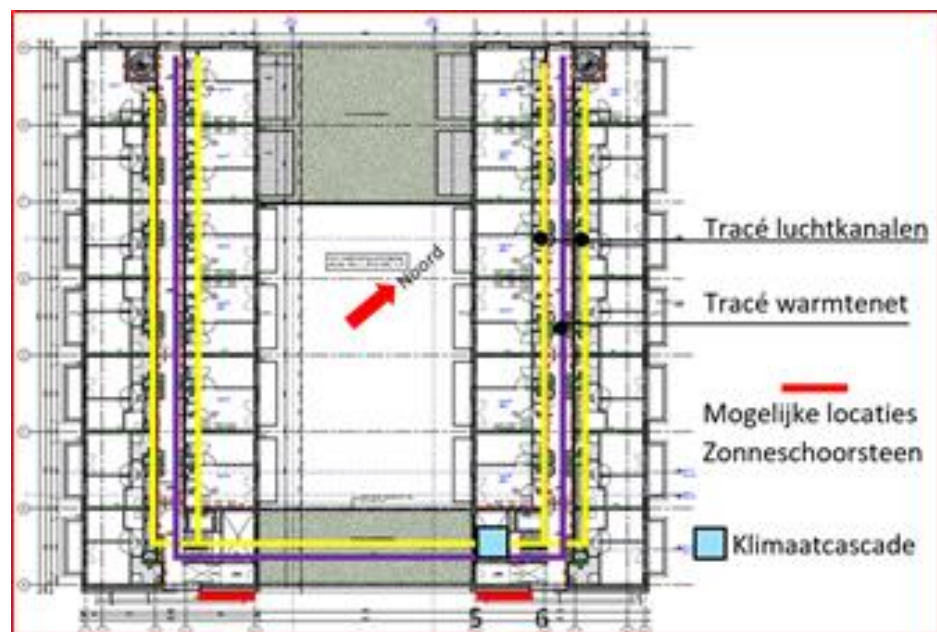
Het EWF-concept is klimaatresponsieve architectuur waarin klimaatontwerp, bouwphysica en installaties worden gekoppeld aan een architecturale opgave. De EWF-voorzieningen worden hierbij idealiter vanuit het programma van eisen ontworpen, waarbij de architect een belangrijke rol speelt als technisch en artistiek co-ontwerper van het klimaatsysteem. Bij het ontwerp van de appartementen Eenhoorterrein was dit geen uitgangspunt, en zullen de EWF-voorzieningen moeten worden afgestemd op het gegeven architecturaal en bouwkundig ontwerp. Als zodanig kan het project echter een interessante casus vormen voor het implementeren van het EWF-concept bij renovaties van bestaande wooncomplexen t.b.v. toekomstbestendige en energie neutrale woningen.

Belangrijke uitgangspunten voor het ontwerp zijn:

- Oriëntatie van de zonneshoorsteen op bezonde gevelvlakken;
- Klimaatcascade en zonneshoorsteen bij voorkeur dicht bij elkaar en zoveel mogelijk geïntegreerd in of aan het gebouw;
- Hoogte van het Ventecdak geschikt voor vrije aanstroming van de wind uit alle richtingen;
- Techniekruimte aan de voet t.b.v. de WKO-voorzieningen, sproeipomp, warmtewisselaar, warmtepompinstallatie (bij water/water), transportpompen voor het warmtenet en aansluiting op het luchtverdeelsysteem in de kruipruimte;
- Techniekruimte aan de top t.b.v. hulpventilatoren, warmtewisselaar, warmteterugwinning, warmtepompinstallatie (bij lucht/water), en aansluiting op de venturi-ejector in het dak.

De zonneshoorsteen is een dominant bouwelement en raakt direct aan de architectuur. Gezien de oriëntatie van de gebouwen is de keuze beperkt tot een zuidoost of een zuidwest gevel. De jaarlijkse sommen van de totale zonnestraling op beide oriëntaties is ontloopt elkaar weinig hetgeen een vrije keuze voor de ligging van de zonneshoorsteen mogelijk maakt. Bouwblok 4 biedt weinig mogelijkheden voor zinvolle locaties van een zonneshoorsteen. Figuur 30 laat enkele mogelijk locaties zien bij Bouwblok 3 waarbij eventueel nog kan gekozen worden voor een hoekzonneshoorsteen ZO/ZW, die een aanzienlijk grotere capaciteit mogelijk maakt. Bij de navolgende analyses zal worden nagegaan of dit energetisch een zinvolle optie is. De aangegeven locaties liggen beide bij een trappenhuis met vide, waar de klimaatcascade kan worden gesitueerd. De liftmachinekamer kan in de bovendakse techniekruimte worden geïntegreerd, en de techniekruimte aan de voet kan worden gerealiseerd door uitbreiding van de liftput.

De navolgende analyses zijn afgestemd op Bouwblok 3.



Figuur 30 - Mogelijke locaties zonneshoorsteen Bouwblok 3

Figuur 30 laat tevens de structuur zien van de horizontale luchttransportkanalen in de kruipruimte waarop de verticale ventilatiekanalen t.b.v. de woningen volgens kunnen worden aangesloten. De leidingen van het warmtenet kunnen in principe hetzelfde tracé volgen.

App.D3.4 Ventilatie en Energiegebruik

Het energiegebruik voor verwarming van de ventilatielucht in de stookperiode moet zoveel mogelijk worden beperkt. Hiervoor zijn in principe de volgende mogelijkheden beschikbaar:

1. Behoeftafhankelijke regeling van de ventilatiedebieten;
2. Balansventilatie met warmteterugwinning uit de ventilatielucht;
3. Een combinatie van beide.

Voor een zuivere behoeftafhankelijke regeling op basis van CO₂-concentratie ad 1 zou elk vertrek moeten worden voorzien van een CO₂-sensor, en afzonderlijk via een variabel-debiet regelaar worden aangesloten op het ventilatiesysteem. Regeling kan in principe plaatsvinden via de luchttoevoer of het afzuigsysteem. Voor de U-bouw is dit een gebruikelijk concept maar voor de woningbouw is het geen kosteneffectieve, en bovendien storingsgevoelige oplossing. Het ventilatiesysteem volgens de omgevingsvergunning ad paragraaf App.D2.2 werkt in principe ook behoeftafhankelijk, zij het in een minder zuivere vorm. Maar de ventilatieprestaties van dit systeem zijn onvoldoende door de te hoge CO₂-concentraties in de

slaapkamers (zie paragraaf App.D2.4). Bovendien horen woninginstallaties in principe zo simpel mogelijk te zijn. Hoe dommer de installatie, althans die op huiskamerniveau, des te beter zal deze door de bewoner worden begrepen en gebruikt.

Bij toepassing van balansventilatie met effectieve warmteterugwinning ad 2 neemt de meerwaarde van een behoefteafhankelijke regeling af en is veelal niet meer noodzakelijk.

Individuele balansventilatie met warmteterugwinning kan in principe 50-70% besparen op de energiebehoefte voor ventilatie. Om te voldoen aan de stringente eisen EPC-eisen zijn dergelijke systemen sinds het begin van deze eeuw op grote schaal in woningen geïnstalleerd. De ervaringen zijn vaak nogal ontluisterend (Balvers et al, 2012). Iets minder dan 60% van de bewoners is tevreden met het geluid en het onderhoud van het systeem (WONO, 2014).

Het EWF-concept omvat een effectieve collectieve warmteterugwinning, waardoor een behoefteafhankelijke regeling minder noodzakelijk is. Het ontwerp van de EWF-voorzieningen voorziet daarom in een semi-constant debiet systeem, waarbij tijdens afwezigheid van de bewoners wordt omgeschakeld op een minimumwaarde t.b.v. continue ventilatie (zie paragraaf App.D2.8).

App.D3.5 Ventilatie volgens Omgevingsvergunning / Bouwbesluit

Tabel 12 laat de cumulatieve ventilatiecapaciteit zien zoals aangegeven in de Omgevingsvergunning (zie ook paragraaf App.D2.2). Deze waarden zijn inclusief de toeslag voor keukens ad $75 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ die alleen tijdens koken wordt gebruikt. Voor het semi-constant debiet EWF-concept houdt dit in dat keukens continue zouden worden afgezogen. Dit is niet alleen overbodig is, maar geeft ook een scheve verhouding in de verdeling van de ventilatie capaciteiten. De woonkamer/keukens worden permanent over geventileerd, bij onder ventilatie van de slaapkamers.

Appartementen Eenhoornterrein Amsterdam - Bouwblok B3 - Ventilatie											
Specifiek		Aantallen					Ventilatie $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$				
Type	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	b.g.	1e verd.	2e verd.	3e verd.	totaal	b.g.	1e verd.	2e verd.	3e verd.	totaal
A	151				10	10	0	0	0	1510	1510
B	151	8	12	22	12	54	1208	1812	3322	1812	8154
C	234			2	2	4	0	0	468	468	936
D	204	12				12	2448	0	0	0	2448
H	151		2	2	2	6	0	302	302	302	906
I	194	2				2	388	0	0	0	388
Subtotaal		22	14	26	26	88	4.044	2.114	4.092	4.092	14.342
Totaal		88					14.342				

Tabel 12 - Ventilatiecapaciteit volgens Omgevingsvergunning/ Bouwbesluit

App.D3.6 Verbeterde ventilatie volgens het EWF-concept

App.D3.6.1 Ventilatiecapaciteit per woning- CO_2 -concentratie 1200 PPM

Voor woonkamers wordt $0,9 \text{ dm}^3(\text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}) \equiv 3,24 \text{ m}^3(\text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$ aangehouden conform Bouwbesluit. Het op basis hiervan benodigde luchtdebiet wordt via het EWF-systeem toegevoerd en afgezogen via de hybride afzuigkappen in de woonkamer/keuken. Tijdens koken wordt via de hybride afzuigkappen $\approx 300 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ in recirculatiebedrijf afgezogen. Voor slaapkamers wordt uitgegaan van $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ per persoon, waardoor te hoge CO_2 -concentraties tijdens de nacht worden voorkomen (zie paragraaf App.D2.6).

App.D3.6.2 Afzuig keukens

De cumulatieve ventilatiecapaciteit voor bouwblok 3 volgens de omgevingsvergunning bedraagt $16.154 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Deze capaciteit is inclusief $75 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ voor afzuig van de keukens, voor een effectieve keukenventilatie een veel te lage waarde, zeker voor een woonkamer/keuken (zie paragraaf App.D2.7). Gepleit wordt daarom voor de toepassing van hybride afzuigkappen met een capaciteit van $\approx 300 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ in recirculatiebedrijf. Een logische vervolgstap is dan om de genoemde $75 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ uit de ventilatiebalans te halen en de ventilatie van woonkamers te baseren op de eis van $0,9 \text{ dm}^3 \cdot (\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}) \equiv 3,24 \text{ m}^3 \cdot (\text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$ en van slaapkamers op $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ per persoon.

App.D3.6.3 Cumulatieve ventilatiecapaciteit

Op een totaal gebruiksoppervlak van bouwblok 3 ad 4.020 m^2 wordt de installeren ventilatiecapaciteit dan $10.640 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (zie tabel 13), een verlaging van $\approx 25\%$ t.o.v. het Bouwbesluit. Het gemiddelde ventilatievoud is $[10.640 / (4.020 \cdot 2,6)] \approx 1,0$. Dit concept voldoet echter niet aan het Bouwbesluit. Bovendien zou het een te gunstig beeld geven van de energieprestaties van het EWF-concept, omdat hierbij naast de warmteterugwinning ook het lagere ventilatiedebiet een rol speelt.

Appartementen Eenhoornterrein Amsterdam - Bouwblok B3													
Specifiek						Toevoer		Afzuig $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$					
Typ e	Woonk . m^2	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	Slpk . pers	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	Totaa l $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	tot.	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	Toil et	Badk.	Bergi ng	afz.k ap	per type	Totaal
A	24,92	81	0	0	81	10	807	25	50	0	6	81	807
B	18,55	60	2	50	110	54	5946	25	50	0	35	110	5.946
C	18,70	61	5	125	186	4	742	25	50	0	111	186	742
D	34,12	111	3	75	186	12	2227	25	50	50	61	186	2.227
H	26,75	87	0	0	87	6	520	25	50	0	12	87	520
I	30,60	99	4	100	199	2	398	25	50	0	124	199	398
Totaal						88	10.640	150	300		348	848	10.640

Tabel 13 - Ventilatiecapaciteit Bouwbesluit exclusief afzuig keukens

App.D3.6.4 Verbeterde ventilatieprestatie - CO_2 -concentratie -1000 PPM

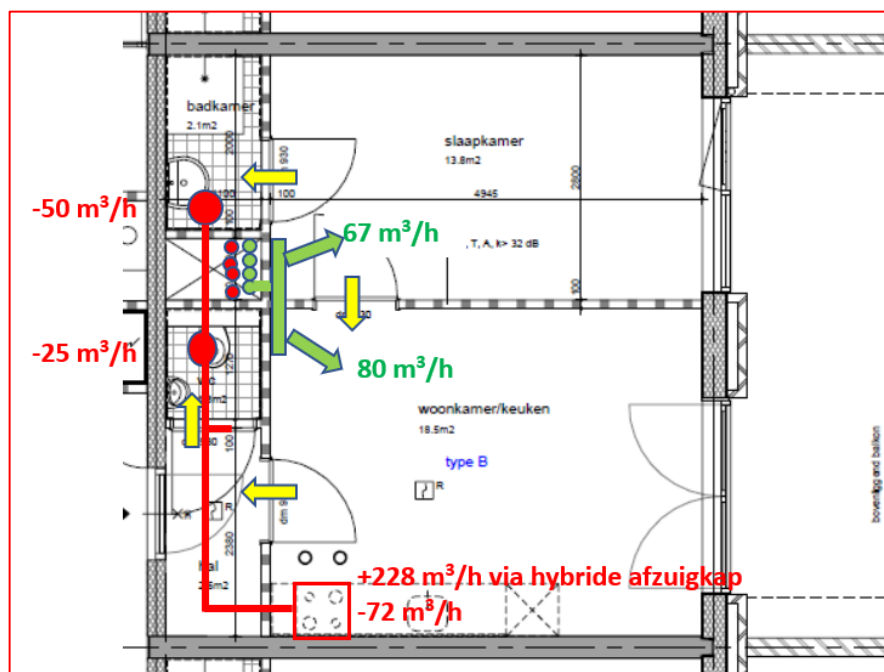
Om een CO_2 -concentratie van 1.000 PPM in plaats van 1.200 PPM te realiseren zou de luchtverversing moeten worden opgevoerd naar $33,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ per persoon, een stijging van 33,2%. De ventilatiecapaciteit voor verblijfsruimten gaat in dit geval naar $1,2 \text{ dm}^3 \cdot (\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}) \equiv 4,32 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (zie paragraaf App.D2.2). Tabel 14 laat zien dat hiervoor een cumulatief ventilatiedebiet nodig is van $14.168 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, vrijwel gelijk aan de ventilatiecapaciteit volgens Omgevingsvergunning/Bouwbesluit 6.5 ad $14.342 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ volgens paragraaf App.D3.5. Als we deze waarde hanteren voor de berekening van de energieprestaties van het EWF-concept krijgen we een zuiver beeld van de invloed van het EWF-concept met warmteterugwinning. Door betere benutting van de ventilatielucht realiseren we bij gelijkblijvend ventilatiecapaciteit een betere ventilatieprestatie.

Appartementen Eenhoornterrein Amsterdam - Bouwblok B3													
Specifiek						Toevoer		Afzuig m ³ .h ⁻¹					
Type	Woonk m ²	m ³ .h ⁻¹	Slpk. pers	m ³ .h ⁻¹	Totaal m ³ .h ⁻¹	to t.	Tot.m ³ .h ⁻¹	Toilet	Badk	bergi ng	afz.k ap	per type	totaal
A	24,92	108	0	0	108	10	1077	25	50	0	33	108	1.077
B	18,55	80	2	67	146	54	7906	25	50	0	71	146	7.906
C	18,70	81	5	167	248	4	991	25	50	0	173	248	991
D	34,12	148	3	100	248	12	2970	25	50	50	123	248	2.970
H	26,75	116	0	0	116	6	694	25	50	0	41	116	694
I	30,60	132	4	133	265	2	530	25	50	0	190	265	530
subtotaal						88	14.168	150	300		630	1.130	14.168

Tabel 14 - Ventilatie voor een CO₂-concentratie van 1000 PPM

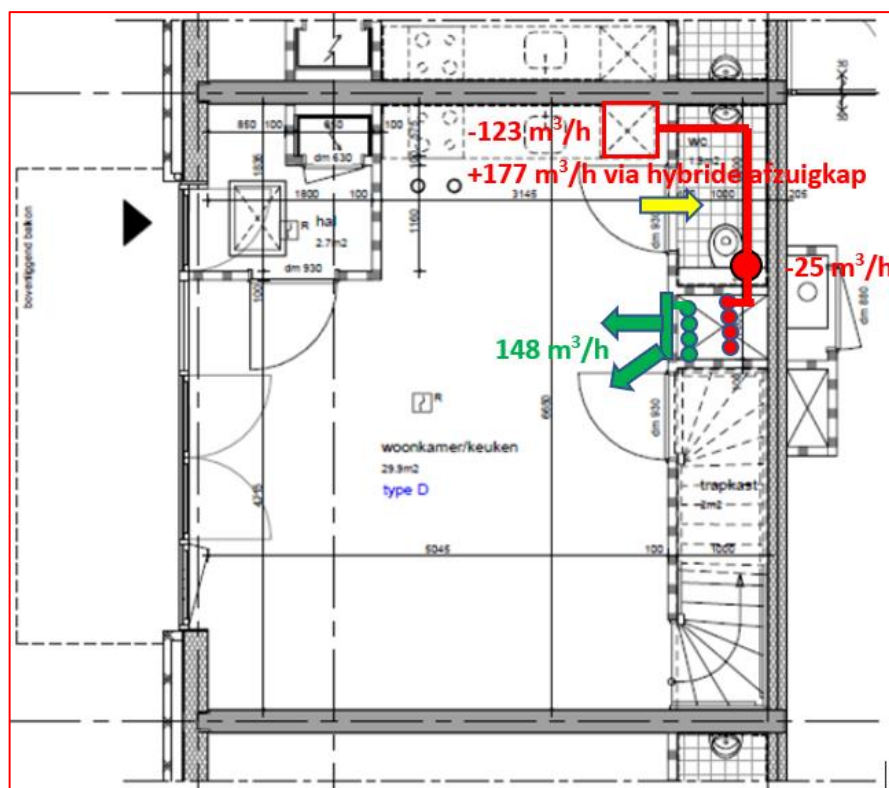
App.D3.7 Ventilatievoorzieningen op woningniveau

Figuur 31 t/m 33 laten zien hoe de toevoer- en afzuiging van lucht in de woningtypes B en D kan worden uitgevoerd. Uitgegaan is van de ventilatiecapaciteiten volgens tabel 14.

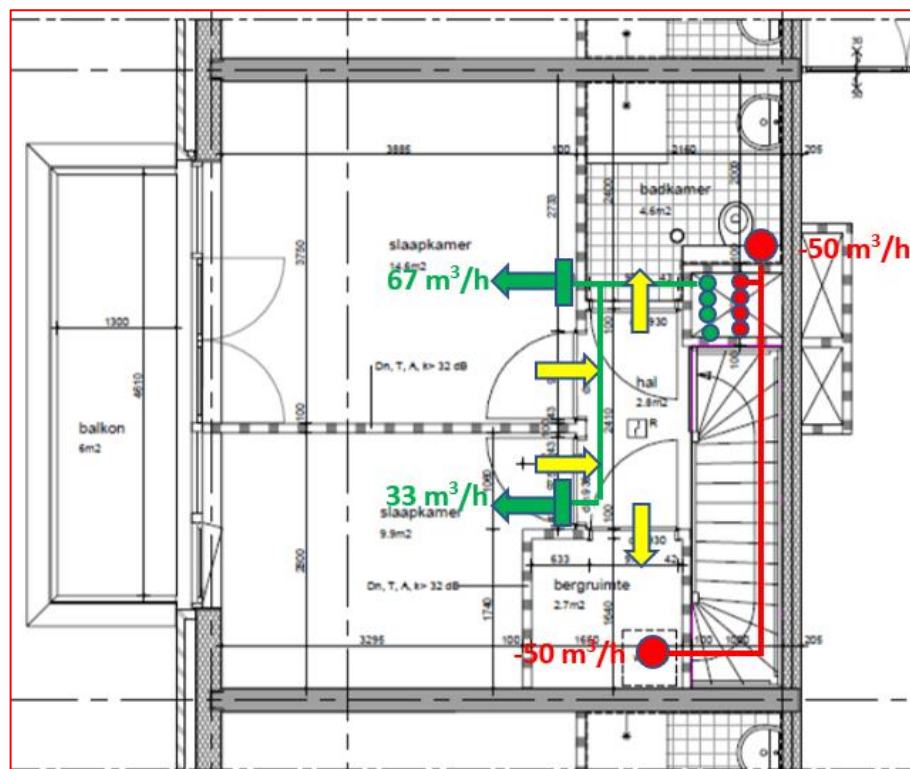


Figuur 31 - Luchttoevoer en -afzuig in woningtype B

In verband met mogelijke geluidsoverdracht is ervan uitgegaan dat elke bouwlaag via een separaat luchtkanaal Ø 150 mm op de transportkanalen in de kruipruimte worden aangesloten.



Figuur 32 - Luchttoevoer en -afzuig in woningtype D woongedeelte



Figuur 33 - Luchttoevoer en -afzuig in woningtype D slaapgedeelte

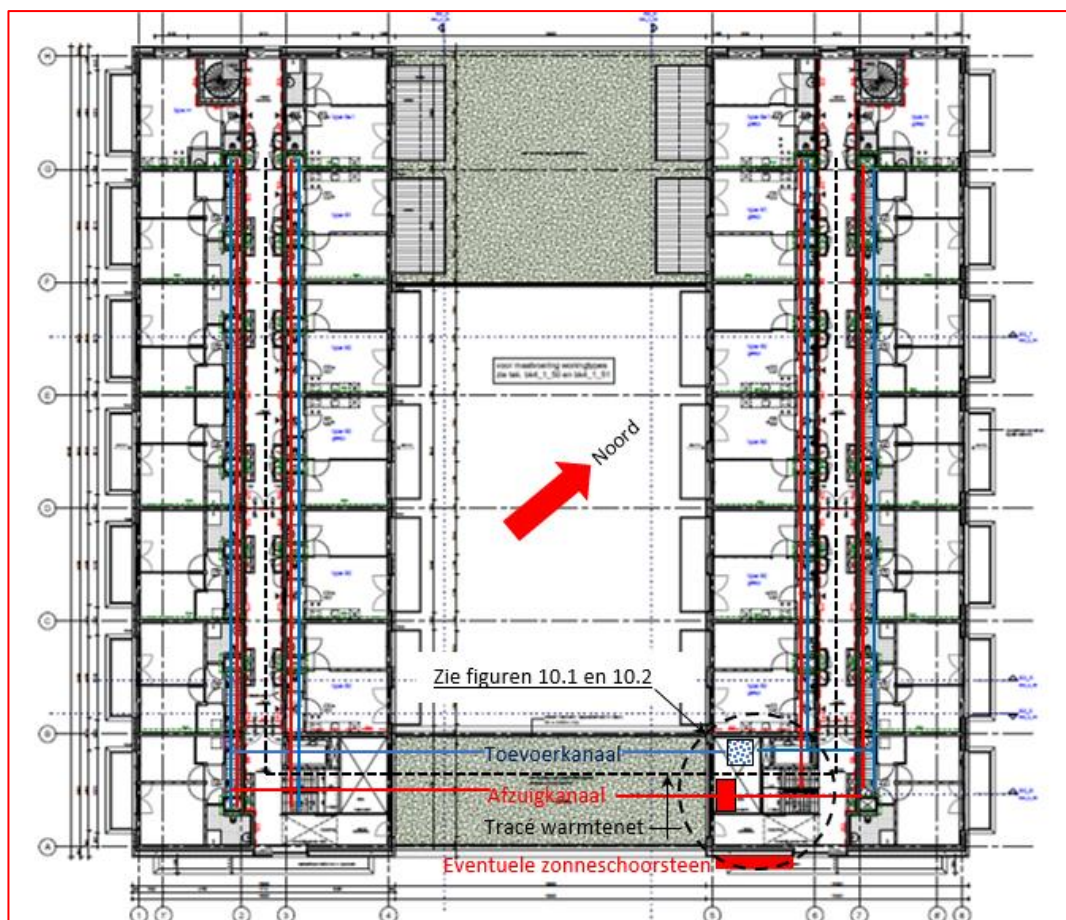
App.D3.8 Capaciteitsregeling

Capaciteitsregeling pakt onder het regime van het huidige Bouwbesluit in het algemeen slecht uit, met name in de slaapkamers (zie paragraaf App.D2.3). Het ontwerp gaat daarom uit van een constante ventilatie capaciteit. In het geval er in de woning geen bewoners aanwezig zijn, bij voorbeeld tijdens afwezigheid in werktijden en vakantieperioden, is ventilatie niet nodig en kan worden volstaan met de continue minimum ventilatie¹³. Hiertoe wordt elke woningaansluiting voorzien van een constant debietregelaar met onder begrenzing t.b.v. de continue minimum ventilatie. Bij afwezigheid van de bewoner is deze regelaar semi-gesloten, waarbij 15 à 20% van de ventilatiecapaciteit volgens Bouwbesluit wordt gerealiseerd. Deze stand is automatisch ingesteld en kan door de bewoner niet worden uitgeschakeld. Bij aanwezigheid van de bewoner wordt de regelaar open gestuurd, waardoor de volledige ventilatiecapaciteit volgens Bouwbesluit wordt gerealiseerd.

De ventilatie effectiviteit van dit concept in de woonruimten wordt gegarandeerd door de in de figuren 32, 33 en 34 aangegeven wijze van luchtinblaas met inducerende roosters. Een constant debietsysteem is hiervoor een voorwaarde.

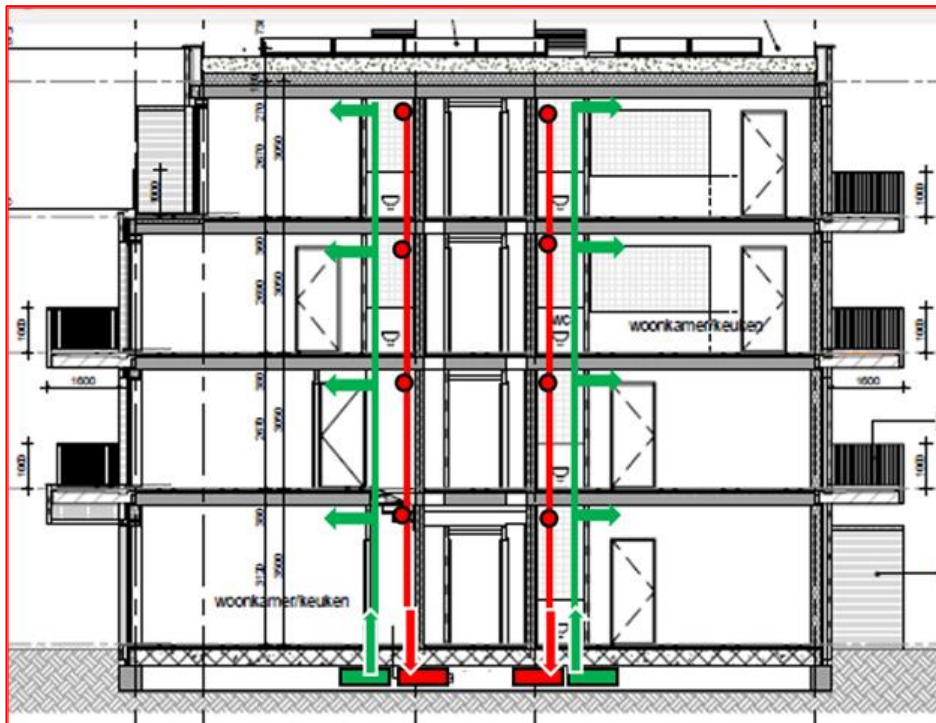
App.D3.9 Principeontwerp luchttoevoer- en afzuigkanalen

Er zijn meerdere mogelijkheden voor het luchttransport- en afzuigstelsel. Figuur 34 toont een principeontwerp dat aansluit op de tracés van de luchtkanalen volgens figuur 30. Het drukverlies van het getekende systeem wordt bij lichtsnelheden van $2,5$ à 3 m.s^{-1} geschat op $\approx 100 \text{ Pa}$ inclusief $\approx 50 \text{ Pa}$ voor de constant debiet regelaars per woning.



Figuur 34 - Klimaatcascade, afzuigschacht, luchtkanalen en tracé warmtenet in kruipruimte

¹³Dauerlüftung



Figuur 35 - Principeontwerp luchttoevoer- en afzuigkanalen

App.D3.10 Gemiddelde ventilatieprestatie

De gemiddelde ventilatieprestatie kan globaal worden geraamd op basis van de bedrijfstijden op de 2 ventilatiestanden:

- Aanwezigheidsstand:

Werkdagen	12,5 uur per dag $\equiv 12,5 \cdot 5 \cdot 52 = 3.250$ uur per jaar
Weekenden	18,0 uur per dag $\equiv 18,0 \cdot 2 \cdot 52 = 1.872$ uur per jaar
Extra voor koeling in zomer	≈ 1.000 uur per jaar
Totaal	6.122 uur per jaar $\equiv 6.122 / 8.765 = 70\%$
- Afwezigheidsstand $(8.765 - 6.122)$ 2.643 uur per jaar $\equiv 2.643 / 8.765 = 30\%$

De gemiddelde ventilatieprestatie is $[(0,7 \cdot 14.168) + (0,3 \cdot 0,2 \cdot 14.168)] = 10.750 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \equiv 76\%$ van de maximum ventilatiecapaciteit. Deze waarde wordt gebruikt voor de berekening van de energieprestaties.

App.D3.11 Koeling in de zomerperiode

Oververhitting van de appartementen in de zomerperiode kan worden voorkomen door de constant-debietregelaars ad paragraaf App.D3.6 open te sturen waardoor de natuurlijke airconditioning in werking treedt, ook bij afwezigheid van de bewoner. Dit kan eenvoudig worden gerealiseerd met behulp van een thermostaat in het afzuigkanaal, die door de bewoner naar behoefte kan worden ingesteld op $\approx 24^0\text{-}25^0\text{C}$.

App.D4. Referenties

- ABT (2019). *Bouwplan Eenhoorn blok 3 + 4* d.d. 08-01-2019
- ABT (2019). *Omgevingsvergunning blok 3* d.d. 21-01-2019
- ATAG/TNO (2018). *Afzuigkap Duo Logic HR*
(www.atag.nl/collectie/producten/000000000000420896_0001#specificaties)
- Balvers, J. et al (2012). *Mechanical ventilation in recently built Dutch homes: technical shortcomings, possibilities for improvement, perceived indoor environment and health effects*. Architectural Science Review 55:1 pp 4-14.
(<https://doi.org/10.1080/00038628.2011.641736>)
- Bluyssen, Ph. (2018). Gezondheidsrisico's vervuilde binnenlucht zwaar onderschat. Bouwwereld 17-05-2018.
- Bronsema, B. (2020). *Woningventilatie: Het moet beter en het kan beter*. TVVL magazine 01/2020
- ASHRAE (1999). ASHRAE handbook: heating, ventilating, and air-conditioning applications.
- Van den Engel, P.W.J. (1995). *Thermisch comfort en ventilatie-efficiency door inducerende ventilatie via de gevel*. Proefschrift TU Delft.
- Gezondheidsraad (1984). "Advies in zake het binnenhuisklimaat, in het bijzonder een ventilatieminimum, in Nederlandse woningen"
- Hasselaar, E. (2018). *Schimmelproblematiek in de badkamer van energie-efficiënte woningen*. ISIAQ.nl symposium 2018.
- ISIAQ-CIB (2003). *Performance Criteria of Buildings for Health and Comfort*. ISIAQ-CIB Task Group TG 42 number 292.
- Jacobs, P. en Borsboom, W. (2017). *Cooking exhaust systems for low energy dwellings*. REHVA Journal December 2017.
- Jacobs, P. (2018). *Belang van kookafzuiging in luchtdichte woningen*. ISIAQ.nl symposium 2018.
- Pijnenborgh, R. (2018). ISIAQ.nl Symposium Binnenmilieu in energie-efficiënte woningen
- Roelofsen, C.P.G. (2012). *Nieuw Bouwbesluit gaat voorbij aan gezond binnenmilieu*. TVVL Magazine 01 2012.
- Strøm-Tejsen, P. Zukowska, D, Wargocki, P, Wyon, D.P (2014). *The effects of bedroom air quality on sleep and next-day performance*. Indoor Air 2014.
- TNO 2003. *Relatie EPC-niveau en gezondheidsrisico's als onderdeel van het kwaliteitsniveau van gebouwen*. Rapport GGI-R057.
- WONO - Bureau voor woononderzoek (2014). *Onderzoek naar gebruikservaringen van bewoners met balansventilatie*. (<https://www.lente-akkoord.nl/wp-content/uploads/2015/01/Onderzoek-gebruikservaringen-van-bewoners-met-balansventilatie>)

