

Gelijkwaardigheidverklaring EPC biedt ontwerpvrijheid

Steeds strengere duurzaamheidseisen aan nieuwe utiliteitsgebouwen beperken de ontwerpvrijheid van zowel de gebouwgebonden installaties als het bouwkundig ontwerp. Ontwerpvrijheid is vooral van groot belang bij PPS-trajecten, die de mogelijkheid bieden om op andere zaken dan prijs onderscheid te maken. Om de ontwerpvrijheid te vergroten maakt NEN 2916 het gebruik van een gelijkwaardigheidverklaring voor het opwekkingsrendement mogelijk.

Ing. S. (Sebastiaan) Blok, technisch consultant Strukton WorkSphere; T. (Theo) Thijssen MSc, wetenschappelijke medewerker TNO

Eind 2007 is de aanbestedingsprocedure voor het PPS-project (Publieke Private Samenwerking) 'Huisvesting Informatie Beheergroep en Belastingdienst te Groningen' afgerond. De uiteindelijke beoordeling van de biedingen heeft plaatsgevonden op zowel prijs als kwaliteit (o.a. architectuur, functionaliteit, duurzaamheid en integraal ontwerp). Het consortium DUO² (een samenwerkingsverband van Strukton, Ballast Nedam en John Laing) heeft gekozen voor onderscheid op ontwerp in plaats van concurrentie op prijs.

De beschikbare stedenbouwkundige envelop (grondoppervlak x toegestane bouwhoogte) in relatie tot het aantal gevraagde vierkante meters bruto vloeroppervlak (BVO) gaf weinig tot geen ruimte voor architectonische vormgeving van het gebouw. Door DUO² is daarom besloten om de standaard verdiepingshoogte te verlagen naar 3,3 meter (in plaats van 3,6 meter). Deze verlaging zorgde voor extra ruimte binnen de stedenbouwkundige envelop, die gebruikt kon worden voor de vormgeving. Ook op het bouwkundig budget had deze verlaging een positieve uitwerking. Maar voor de installaties waren er een aantal gevolgen die om een oplossing vroegen:

- per verdieping minder hoogte beschikbaar voor installaties (28 cm);

- moeilijkere indeling van technische ruimten vanwege de geometrische vorm van het gebouw en de opzet van de hoofdconstructie (kolomstructuur);
- beschikbaarheid van een minimaal aantal vierkante meters BVO voor technische ruimten.

De gestelde duurzaamheidseis (EPC van 1,1 of minder) en comforteis (klasse B conform de NPR1752) sturen een installatieontwerp snel in de richting van standaard installatieconcepten, zoals balansventilatie voorzien van WTW, aangevuld met ventilatorconvectoren, inductieunits, klimaatplafonds etc. Dit is normaal gesproken geen probleem. De genoemde bouwkundige restricties noodzakten het consortium echter om te komen met een alternatief voor een standaard klimatiseringsinstallatie.

Moderne gebouwen hebben tegenwoordig een grotere koude- dan warmtebehoefte als gevolg van een goede thermische schil, hoge bezettingsgraad en opgestelde apparatuur. Factoren die de gebruiker bepaalt, zijn dominant. In dit project is de interne warmtelast (gebruiker) als vaste waarde in de outputspecificatie opgegeven. Energiebesparing op de koudevraag

van het gebouw was in zeer geringe mate te beïnvloeden. Daarom heeft Duo² gekeken naar besparing op primaire energie, dus rekening houdend met het rendement van de opwekking. Warmte en koude kunnen behoorlijk efficiënt geleverd worden, met een rendement dat vaak ver boven de 100% uitkomt (ratio geleverde energie over gebruikte primaire energie), door gebruik van warmtepompen en warmte/koudeopslag. Elektrische energie kan veel minder efficiënt geproduceerd worden, met een rendement rond de 40%. Het loont dus om energie te besparen door te verschuiven van hergebruik van warmte en koude (warmterugwinning, WTW) naar besparing

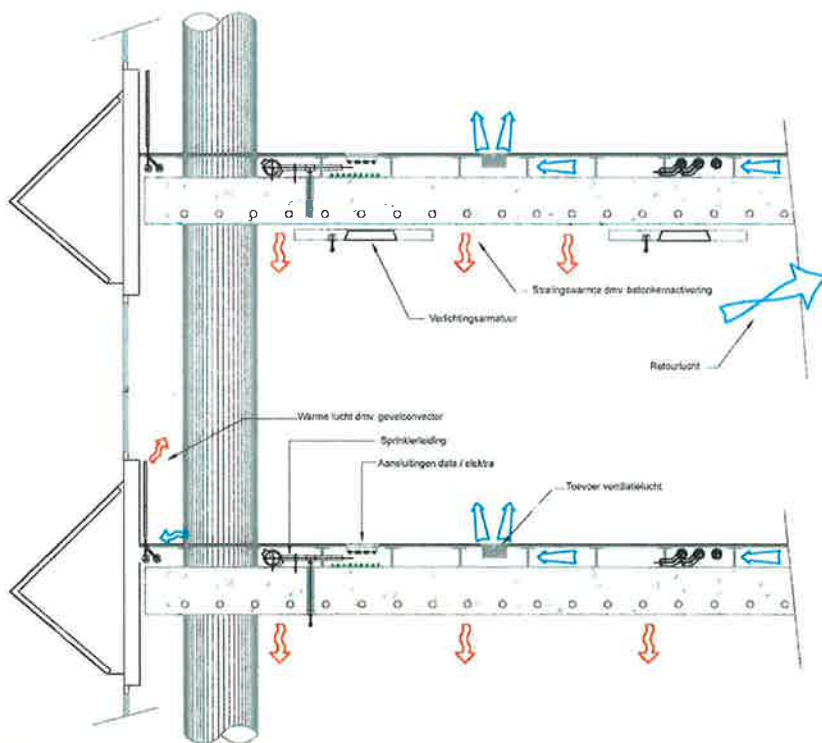


-Figuur 1- Trias energetica, stappen voor energiebesparing

op elektrische energie. De grootste elektriciteitsgebruikers in kantoren zijn normaal gesproken verlichting en ventilatorenergie. Op basis van deze overweging in combinatie met de noodzaak van een installatieconcept dat binnen de bouwkundige randvoorwaarden past, is het ventilatieconcept voor het gebouw ontworpen.

HET VENTILATIECONCEPT

Verse, eventueel voorverwarmde, buitenlucht wordt via een vloerplenum aangevoerd en door middel van vloerroosters ingeblazen. De verhoogde vloer functioneert daardoor als luchtkanaal en afwerkvloer. Bovendien is er installatieruimte ontstaan, waardoor de noodzaak van horizontaal luchtkanalenwerk vervalt. Centrale schachten (4 stuks) voeren de lucht af via het dak. Dit spaart zowel horizontale als verticale retourkanalen uit. Hulpventilatoren garanderen de luchtafvoer vanuit de schachten. Ze zijn in de vorm van luchtazuigkasten op de daken geplaatst en op de schachten aangesloten.



-Figuur 2- Het ventilatieconcept

Het achterwege laten van een gekanaliseerd horizontaal luchttoevoer- en -afvoersysteem en het verticale afvoersysteem bespaart veel materiaal en installatieruimte. Bovendien zorgt dit voor een grote reductie van de elektriciteitsvraag voor ventilatorenergie.

Het kanalisatieconcept van het luchttoe- en -afvoersysteem beperkt de mogelijkheden voor WTW aanzienlijk. Deze beperking en de gehanteerde benadering om de elektriciteitsvraag te reduceren, zijn de reden dat er geen WTW wordt toegepast.

Het weglaten van de WTW heeft bovendien een gunstig effect op de bodembalans. Bij het gebouw wordt namelijk warmte/koudeopslag (WKO) toegepast. In een modern kantoor-gebouw is de koudevraag vaak groter dan de warmtevraag. Dat is ook hier het geval. Om de bodembalans van de WKO sluitend te krijgen moet dus extra koude worden geproduceerd en in de bodem gestopt. Dit gebeurt bijvoorbeeld met droge koelers. Door het ontbreken van de WTW wordt de warmtevraag groter, waardoor deze beter in verhouding is met de koudevraag. Het verschil tussen onttrokken en geleverde warmte wordt kleiner, waardoor minder aanvullende maatregelen getroffen hoeven te worden om de bodembalans op orde te krijgen.

De luchtbehandelingskasten zijn uitgevoerd met één warmtewisselaar die voor zowel verwarmen als koelen wordt gebruikt. Het toepassen van slechts één warmtewisselaar verlaagt de weerstand en dus het elektrisch verbruik van de ventilatoren in de luchtbehandelingskast. Het koelbedrijf is maatgevend, waardoor

+/- ¹	Conventieeel
+	Energiegebruik ventilatoren
+	Energiegebruik voor regeneratiebron
-	Besparing energiegebruik warmte/koudevraag
+/- ¹	Alternatief
-	Energiegebruik ventilatoren
-	Energiegebruik voor regeneratiebron
+	Extra energiegebruik voor verhoogde warmtevraag ventilatiesysteem

¹ Relatieve energiegebruik t.o.v. andere concept, (+) meergebruik, (-) mindergebruik

-Figuur 3- Vergelijking tussen conventionele en alternatieve installatie

het verwarmingsblok overgedimensioneerd is. De warmtewisselaars kunnen buitenlucht van -10 °C opwarmen tot de inblaasconditie van 19 °C met behulp van een medium aanvoertemperatuur van 33 °C.

Voordelen van dit concept zijn:

- zeer lage temperatuurverwarming ($T_{aanv} = \max. 33 \text{ °C}$);
- laag energiegebruik ventilatoren;
- betere bronbalans (moderne gebouwen hebben vanwege de goede thermische schil in combinatie met de hoge interne warmtebelasting eerder een grotere koude- dan warmtevraag);
- betere inpasbaarheid binnen het bouwkundig concept.

Het weglaten van de warmteterugwinning mag niet ten koste gaan van de duurzaamheid. Om dit te realiseren dient de extra benodigde warmte op een zo efficiënt mogelijke manier opgewekt te worden. Uiteindelijk moet het alternatieve concept een minimaal gelijkwaardige EPC-waarde hebben als een conventioneel ontwerp met WTW.

Warmtepompen in combinatie met een warmte/koude-opslag zorgen voor verwarming en koeling. Dit installatieontwerp (zonder WTW) heeft een EPC van 0,88, berekend aan de hand van NEN 2916, de norm voor het berekenen van de EPC van een gebouw. Ditzelfde systeem voorzien van warmteterugwinning levert een EPC van 0,79 op. Hiermee

is het alternatief dus niet gelijkwaardig aan het conventionele concept met WTW.

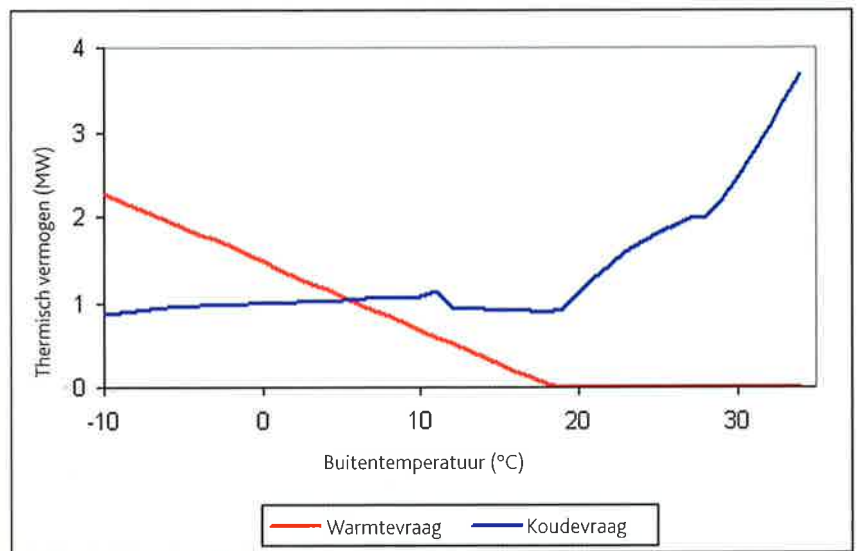
Deze slechter uitvallende EPC wordt echter deels veroorzaakt doordat NEN 2916 conservatieve standaardwaarden, de zogenaamde forfaitaire waarden, hanteert voor het opwekkingsrendement van warmtepompen en een WKO. De reden is dat commercieel verkrijgbare systemen een grote spreiding in rendement vertonen. Om overschatting van minder efficiënte systemen te voorkomen, moet een lage waarde aangenomen worden. Afwijken van de forfaitaire waarden is echter toegestaan, mits van te voren aangetoond wordt dat het toegepaste systeem beter zal presteren. Hiervoor moet een gelijkwaardigheidsverklaring overlegd worden.

Ondanks het feit dat het alternatief voldoet aan de minimale EPC-eis van 1,1 is er toch voor gekozen om een gelijkwaardigheidsverklaring op te stellen om de EPC verder te verlagen. De redenen hiervoor zijn:

- extra technische uitdaging van het systeemontwerp;
- extra onderbouwing van de exploitatiebegroting qua energiegebruik;
- extra onderbouwing van het installatieontwerp richting klant/RGD;
- compensatie van extra materiaalgebruik (beton) in de ruwbouw, zodat de GreenCalc⁺-score behouden blijft.

■ GELIJKWAARDIGHEID

Voor een onafhankelijke gelijkwaardigheidsverklaring van de klimatiseringsinstallatie is contact gezocht met TNO. Normaal gesproken wordt een gelijkwaardigheidsverklaring gebruikt om de verschillende systeemonderdelen individueel te beoordelen. Door de complexiteit van het systeem was dit echter niet mogelijk. Met bijvoorbeeld vier verschillende bronnen van koude, kan het systeem niet volgens NEN 2916 beoordeeld worden. Er is daarom gekozen voor een prestatiebeoordeling van het systeem als geheel, voor zowel koelen als verwarmen. Hierbij zijn wel alle uitgangspunten van NEN 2916 gehanteerd. In de prestatiebeoordeling zijn alle condities uitgezet tegen de buitentemperatuur. Er is namelijk een sterke afhankelijkheid van deze temperatuur. De temperaturen in het afgiftesysteem met stooklijn en de brontemperatuur van de droge koeler zijn afhankelijk van de buitentemperatuur, evenals de inzet (regeling) van de verschillende opwekkers. Ook de warmte- en koudevraag van het gebouw wordt sterk beïnvloed door de buitentemperatuur, zij het met wat vertraging door de thermische massa van het gebouw. Deze afhankelijkheden laten het dus niet toe dat gerekend wordt met gemiddelde condities.



-Figuur 4- Warmte- en koudevraag van het gebouw als functie van de buitentemperatuur

Om het opwekkingsrendement van het gehele systeem te kunnen bepalen, zijn de volgende stappen doorlopen:

- bepaling warmte- en koudevraag per zone, als functie van de buitentemperatuur;
- bepaling van de totale warmte- en koudevraag als functie van de buitentemperatuur;
- bepaling van de verdeling van de warmte- en koudevraag over de verschillende opwekkers op basis van de regelstrategie;
- uitwerking van de bedrijfscondities van de klimatiseringsinstallatie per graad buitentemperatuur;
- bepaling van de prestaties van de opwekkers als functie van de bedrijfscondities;
- berekening van het energiegebruik van de opwekkers door de bedrijfscondities toe te passen op de energieprestatie als functie van de bedrijfscondities van de opwekkers;
- bepaling van de ratio geleverde en gebruikte energie, wat het totaalrendement van de installatie geeft.

De warmtevraag van het gebouw is bepaald en onderbouwd door de ontwerpberekeningen van DUO². Deze berekening is door TNO nagelopen en waar nodig aangepast. De methodiek voor berekening van de warmte- en koudebehoefte is, waar mogelijk, gebaseerd op dezelfde uitgangspunten en bepalingwijze als de NEN 2916. Op deze manier is ernaar gestreefd de gelijkwaardigheidsverklaring daarop zo goed mogelijk te laten aansluiten. Op een aantal punten waar de NEN 2916 niet in een

methodiek voorziet, is gewerkt volgens NEN 7120 (in ontwikkeling), de norm die NEN 2916 op termijn zal vervangen. Zo is bijvoorbeeld een datacentrum aanwezig, maar eventuele nuttige warmte hiervan mag niet worden meegenomen in de EPC omdat dit zich beperkt tot gebouwgebonden energiegebruik. Voor de ontwerpberekening is dit energiegebruik dus wel van belang, maar in de EPC-berekening wordt dit buiten beschouwing gelaten.

Na het bepalen van de warmte- en koudevraag als functie van de buitentemperatuur, moet bepaald worden hoe deze vraag ingevuld wordt. Welk deel van de warmte- en koudevraag wordt door elke opwekker geleverd? Uiteraard moet de som van de geleverde thermisch energie gelijk zijn aan de benodigde energie. De verdeling wordt vastgesteld aan de hand van de onderlinge regeling van de opwekkers. Daarvoor moeten de verschillende opwekkers en hun regeling in kaart gebracht worden.

Voor verwarming zijn drie warmtepompen en een gasgestookte ketel aanwezig. Twee warmtepompen verzorgen de basislast op lage temperatuur ($T_{aanw} < 33^\circ\text{C}$) en één warmtepomp verzorgt de warmte voor de naregeling op hogere temperatuur ($T_{aanw} < 45^\circ\text{C}$). De warmtepompen onttrekken hun warmte aan de WKO. De ketel verzorgt de piekvraag. Voor koeling is een combinatie van vier koudebronnen aanwezig:

- droge koelers, vrije koeling;
- restkoude van warmtepompen;

- WKO, koudeopslag;
- warmtepompen als koelmachine.

De droge koelers worden ingezet bij een lage buitentemperatuur. Wanneer er tegelijk een warmte- en koudevraag in het gebouw is, kan gebruik worden gemaakt van de 'afvalkoude' van de warmtepompen voor koeling. Bij hogere buitentemperaturen wordt gebruik gemaakt van de koude opslag van de WKO, met de warmtepompen in zomerbedrijf voor de piekvraag.

De bepaling van efficiëntie is nodig voor het bepalen van het primaire energiegebruik van de opwekkers. De prestaties van de opwekkers zijn echter afhankelijk van de bedrijfscondities, zoals vermogen, afgiftetemperatuur en in sommige gevallen brontemperatuur. Bij een ketel zijn de afhankelijkheden van het opwekkingsrendement voor verschillende vermogens en afgiftetemperaturen relatief klein; er kan met een constant rendement gerekend worden. Een warmtepomp heeft echter een rendement dat sterk afhangt van de condities. Zo neemt het rendement voor verwarmen af bij hogere afgiftetemperaturen en toe bij hogere brontemperaturen. Ook varieert het rendement met het te leveren vermogen. Deze afhankelijkheden moeten in kaart gebracht worden om te kunnen vaststellen wat het praktijkrendement van de opwekkers is.

Er moest dus gezocht worden naar een manier om de energetische prestaties als functie van de bedrijfscondities vast te stellen. Van de warmtepompen zijn wel enige door Eurovent gevalideerde prestatiegegevens beschikbaar. Deze waren echter niet bruikbaar om de prestaties vast te stellen over de hele reeks van bedrijfscondities. De prestaties zijn daarom in eerste instantie vastgesteld aan de hand van berekening met software, afkomstig van de warmtepompenfabrikant. Om deze gegevens te valideren zijn bij oplevering van de warmtepompen in de fabriek prestatiemetingen gedaan. Hierbij bleken de gemeten waarden van het opwekkingsrendement in alle gevallen 5 tot 27% hoger uit te vallen dan de berekende waarden. Aangezien de berekening van het totaalrendement is gedaan aan de hand van de berekende waarden, zit het resultaat dus aan de veilige kant.

Na het in kaart brengen van de afhankelijkheden van het rendement van elke opwekker, kunnen hierop de optredende bedrijfscondities worden geprojecteerd. Zo wordt duidelijk wat het rendement van de opwekker bij de gegeven praktijkcondities zal zijn.

De per opwekker gebruikte energie kan worden bepaald door de warmte en/of koude die elke

opwekker levert te delen door het rendement van de opwekker. Sommatie hiervan levert het totale energiegebruik. Om het equivalent opwekkingsrendement van het hele systeem te bepalen, wordt de totale warmte- en koudevraag gedeeld door respectievelijk de energie gebruikt voor verwarmen en voor koelen.

RESULTATEN

Met de beschreven bepalingsmethode zijn voor de klimatiseringsinstallatie de volgende rendementen bepaald:

- opwekkingsrendement verwarmen:

$$\eta_{\text{opw,verw}} = 6,98 \times \eta_{\text{el}} = 2,72$$

- opwekkingsrendement koelen:

$$\eta_{\text{opw,koel}} = 20,19 \times \eta_{\text{el}} = 7,88$$

Hierbij is η_{el} het rendement van de elektriciteitsopwekking, volgens NEN 2916, bepaald op 0,39.

Uit de berekening kwam naar voren dat de warmtepompen alle warmte leveren. De forfaitaire waarde in NEN 2916 voor warmtepompen met grondwater als bron en een afgiftetemperatuur $<35^{\circ}\text{C}$ is $4,7 \times \eta_{\text{el}}$. Er zijn twee factoren waarom het hier vastgestelde rendement zoveel hoger uitvalt. Ten eerste zijn forfaitaire waarden conservatieve waarden, om overschatting van systemen te voorkomen. Het merendeel van de systemen zal in de praktijk dus beter presteren. De tweede reden is dat relatief grote warmtepompen worden toegepast, variërend van 500 tot 1.500 kW_{th}. Het rendement van warmtepompen neemt over het algemeen toe bij grotere systemen, doordat het compressorvermogen toeneemt. Voor verwarming valt het berekende rendement dus bijna 50% hoger uit dan de forfaitaire waarde. Het rendement voor koeling valt nog hoger uit. Belangrijkste reden hiervoor is het gebruik van koude opslag en afvalkoude van de warmtepompen. Bij de afvalkoude wordt het energiegebruik volledig toegerekend aan het energiegebruik voor verwarming. Hierdoor valt het opwekkingsrendement voor koeling dus wat hoger uit, het opwekkingsrendement voor verwarming wat lager. Voor het uiteindelijke, totale energiegebruik maakt het niet uit aan welke post het energiegebruik wordt toegerekend.

De EPC komt met de berekende opwekkingsrendementen uit op 0,74. Hiermee valt de EPC dus 0,05 punten lager uit dan berekend met een conventionele installatie.

NUTTIG

Met de gelijkwaardigheidsverklaring kan het 'niet standaard installatieconcept' in het nieuwe kantoorgebouw van de Dienst Uitvoering Onderwijs (voorheen IB-groep) en

Belastingdienst dus toch goed gewaardeerd worden in de EPC-berekening. De bepaalde EPC met de door TNO bepaalde opwekkingsrendementen valt zo 0,14 punten lager uit dan wanneer de forfaitaire waarden in de berekeningen worden meegenomen.

Een gelijkwaardigheidsverklaring creëert dus een mate van ontwerpvrijheid. De norm biedt beperkte mogelijkheden voor de waardering van complexe systemen. Bovendien worden in de norm conservatieve waarden genomen voor nieuwe technieken, waarvan het rendement van commercieel verkrijgbare systemen een grote variatie vertoont, zoals warmtepompen. De keuze van een energiezuinige variant loont, maar voor de EPC-berekening moet het hogere rendement met een verklaring aantoonbaar gemaakt worden om af te mogen wijken van het forfaitaire rendement.

De hiermee verkregen kostenbesparing zal over het algemeen ruimschoots opwegen tegen de extra kosten voor het opstellen van een gelijkwaardigheidsverklaring. Er hoeven immers minder andere energiebesparende maatregelen te worden toegepast. Bovendien is het doorrekenen van een klimatiseringsinstallatie door een onafhankelijke partij voor een gelijkwaardigheidsverklaring een technische uitdaging van het systeem.

De gelijkwaardigheidsverklaring is opgesteld voor de huidige geldende norm. Het is niet te verwachten dat de conclusies in de nieuwe situatie afwijken, tenzij de behoefteberekening in NEN 7120 aanmerkelijk zou verschillen van de nu gehanteerde berekening.