



Windows to the Future

Openbare samenvatting

Colophon

Datum: 24 maart 2025

Research Team



Faculty of Architecture and the
Built Environment

Prof.dr.ir. M.J. Tenpierik	Full Professor of Building Physics
Dr.ir Z. Huijbregts	Researcher Building Physics
Dr. E. Brembilla	Assistant Professor Building Lighting
Dr.-ing. T. Konstantinou	Associate Professor Façade and Product Design
Prof.dr.-ing. T. Klein†	Full Professor of Façade and Product Design
Dr. J. Azcarate	Researcher Circular Buildings
Dr. A. Luna-Navarro	Assistant Professor of Human-Façade Interaction
Prof.dr.ir. P.M. Bluyssen	Full Professor of the Indoor Environment
Dr. M. Ortiz-Sanchez	Researcher of the Indoor Environment



Spyros Bousios	Project Manager
----------------	-----------------



Wout Hoogendoorn	Director
------------------	----------



Ir. Tim Jonathan	Manager Operations and Realisations
------------------	-------------------------------------

Stijgende temperaturen maken Europeanen steeds kwetsbaarder voor hitte en als gevolg daarvan staat de EU voor een grote duurzaamheidsuitdaging om de beschikbaarheid van een gebouwenbestand te garanderen dat hen tegen de gevolgen ervan kan beschermen zonder tegelijkertijd een negatief effect op de toezeggingen voor uitgebreide decarbonisatie te hebben. Aangezien Europeanen 80-90% van hun tijd binnenshuis doorbrengen, neemt de vraag naar airconditioning (AC) toe, wat op zijn beurt leidt tot een toenemend energieverbruik, het verhogen van emissies die de opwarming van de aarde verergeren, en het verhogen van de druk op elektriciteitsnetten. Het voorbeeld van Nederland is verhelderend: het aantal warme dagen steeg met 60% tussen 1990 en 2011, terwijl het gebruik van AC in huishoudens groeide van een schamele 0.5% in 1990 tot 14% in 2014, en wordt verwacht 19% te bereiken in 2040. Elektrische ventilatoren en airconditioners zijn goed voor ongeveer 20% van het wereldwijde elektriciteitsverbruik in gebouwen. Stijgende inkomens en groeiende bevolkingen in de warmere regio's van de wereld maken het gebruik van AC een van de belangrijkste factoren voor de wereldwijde vraag naar elektriciteit, waarbij twee derde van de huishoudens ter wereld mogelijk in 2050 een airconditioner zal hebben en de energievraag voor ruimtekoeling in dat jaar gelijk is aan het totale verbruik van China en India vandaag de dag. Op dat moment kan de vraag naar koeling in de EU verantwoordelijk zijn voor 8-9% van het totale energieverbruik in gebouwen, vergeleken met 2% in 2012.

Hoewel er verschillende ideeën in ontwikkeling zijn voor energiezuinigere actieve koelmaatregelen, richten de momenteel algemeen beschikbare energiezuinige koelstrategieën zich op passieve koeling, wat inhoudt dat gebouwen tegen ongewenste zonnewarmtewinsten worden beschermd. Interne en externe schaduwsystemen worden veel gebruikt, maar hebben een aantal tekortkomingen (kosten, betrouwbaarheid, beschikbaarheid voor alle soorten gebouwen, impact op daglicht, blokkering van uitzicht, esthetiek). Tegelijkertijd is laag-emissiviteitsglas een populaire optie voor het regelen van de zonne-optische eigenschappen van transparante oppervlakken, maar biedt het geen enkele mate van controle over de lichttransmissie erdoorheen. Een veelbelovende oplossing voor het beperken van de vraag naar koeling door het regelen van de zonnewarmtewinst, terwijl tegelijkertijd schittering wordt geëlimineerd en visueel contact met de buitenwereld onder alle weersomstandigheden wordt behouden, is elektrochrom (EC) glas. De brede marktpenetratie ervan wordt echter ernstig belemmerd door de zeer hoge prijs, een gevolg van de productiekosten. Brite wil dit aanpakken met zijn eigen EC-glasvariant op basis van een nieuw productieproces. In dit geval wordt inkjetprinten gebruikt om op het glassubstraat de verschillende lagen materialen te deponeren die het product zijn EC-functionaliteit geven. Inkjetprinten is een snel, zeer nauwkeurig, flexibel met betrekking tot glasformaat, en -bovenal- zeer economisch materiaaldepositieproces.

Het project Windows to the Future was gericht op het onderzoeken van de opschaling van de inkjetprint EC-glasproductiemethode van de 50 x 50 cm apparaatgrootte die door Brite werd bereikt; het onderzoeken van de integratie van een dergelijk product in bouwprojecten; het bestuderen van het energiebesparingspotentieel en de gebruikerservaring met Brite's EC-glas onder representatieve Nederlandse omstandigheden in een echt gebouw; en het verder verkennen van het zakelijke potentieel. Hoewel het project te maken kreeg met aanzienlijke tegenwind als gevolg van de uitbraak van de COVID-pandemie direct bij de start, slaagde het consortium erin om zeer belangrijke vooruitgang te boeken.

Binnen WP1 werd Brite geconfronteerd met de grote uitdaging om, vanwege COVID-gerelateerde reisbeperkingen, de toegang te verliezen tot zijn pilotproductielijn in China die bedoeld was om te worden gebruikt voor de opschaling van de technologie en de productie van EC-glasmonsters voor gebruik in het Nederlandse demonstratiegebouw. Om zich aan deze ontwikkeling aan te passen, verlegde Brite zijn focus naar de verdere ontwikkeling en verbetering van de technologie in overeenstemming met de huidige normen in de EC-glasmarkt en naar de productie van EC-glasmonsters voor de doeleinden van de projectdemonstrator met behulp van zijn kleinschaligere laboratoriumapparatuur. Als resultaat hiervan slaagde het bedrijf erin om binnen dit project de duurzaamheid van zijn product aanzienlijk te verbeteren en de prestaties ervan op gelijke hoogte te brengen met oplossingen van gevestigde fabrikanten die al aanwezig zijn op de EC-markt met commerciële aanbiedingen, terwijl ook problemen met het glas werden aangepakt die direct ontstonden door de tests onder reële omstandigheden tijdens het project. Bovendien heeft het bedrijf de belangrijkste prioriteiten geïdentificeerd met betrekking tot het opschalen van zijn product naar commercieel relevante formaten, evenals de mogelijke oplossingen om deze aan te pakken.

Binnen WP2 zijn de belangrijkste gevelvereisten van belang voor het optimaliseren van de prestaties van het EC-glas en het ontwerp van een isolatieglaseenheid voor het integreren van EC-glas in gevels gedefinieerd. Een demonstratie-installatie van het EC-glas van Brite, aangepast aan de kleinere glasformaten die beschikbaar waren tijdens het project, werd ontworpen en geïnstalleerd in het Office Lab van de Green Village op de campus van de TU Delft in Delft, Nederland.

WPs 3 en 4 richtten zich op het energiebesparingspotentieel en de gebruikerservaring met het EC-glas van Brite, met behulp van de demonstratie-installatie van Green Village. Binnen WP3 werkte de TU Delft, naast het monitoren van de demonstrator, ook aan de modellering van het EC-glasgebruik van Brite onder verschillende scenario's. Dit modelleringswerk gaf inzicht in de optimale plaatsing van EC-glas binnen een meerlaagse IGU; stelde de toenemende voordelen van EC-glas vast in door koeling gedomineerde klimaten; en leverde input voor het verbeteren van de glasprestaties in gematigde klimaten door het dynamische bereik uit te breiden, zodat er meer zonne-energie en daglicht door het glas kan komen, wanneer het in transparante staat is. Vanwege de timing van de installatie van de demonstrator in de zomer van 2023 en de bouwwerkzaamheden in het Office Lab in de zomer van 2024, was het niet mogelijk om de invloed van de aanwezigheid van EC-glas op de energievraag voor koeling tijdens de warmere maanden goed te monitoren. Monitoring tijdens de wintermaanden suggereerde daarentegen een toename van de energievraag voor verwarming, wat in lijn is met de bevindingen van de modellering van de TU Delft voor gebruik in gematigde klimaten, wat het nut onderstreept van het uitbreiden van het dynamische bereik van het glas voor een betere pasvorm met klimaten waar verwarming een belangrijke, of zelfs dominante, rol speelt in de energievraag van gebouwen. Ondertussen geeft het werk van de TU Delft om de perceptie van gebruikers van EC-beglazing te bepalen ten opzichte van de externe zonwering die in het Office Lab wordt gebruikt aan dat gebruikers EC-beglazing als een beter alternatief zien. Dit is een belangrijk punt, aangezien acceptatie en voorkeur van gebruikers boven andere oplossingen van onschatbare waarde zullen zijn voor brede commercialisering; het bevestigt bovendien verwachtingen over de aantrekkelijkheid van EC-glas ten opzichte van zonweringsmaatregelen die een belangrijke drijfveer zijn achter de ontwikkeling ervan.

In WP5 werd ten slotte dieper ingegaan op het zakelijke potentieel van het EC-product van Brite. Hoewel dit als een op zichzelf staand product op de markt kan worden aangeboden, zijn er bepaalde voordelen te realiseren voor zowel eindgebruikers als het bedrijf in een alternatief scenario waarin de EC-gevel een service wordt, inclusief niet alleen de beglazing, maar ook het controlesysteem, gebouwintegratie (fysiek en digitaal), en voortdurende monitoring, ondersteuning, en upgrading van software en hardware gedurende de levensduur van het systeem. Ten slotte zijn het bedrijfsmodel van Brite en het ecosysteem van belanghebbenden die betrokken zijn bij de commercialisering van EC-beglazing binnen het project onderzocht.

Openbare publicaties

Luna-Navarro, A., Verbeek, R., Brembilla, E., Huijbregts, Z., Konstantinou, T., & Tenpierik, M. J. (2025). User Assessment of Low-Cost Inkjet-Printed Electrochromic Glazing. In U. Berardi (Ed.), *Multiphysics and Multiscale Building Physics: Proceedings of the 9th International Building Physics Conference (IBPC 2024) Volume 1: Moisture and Materials* (pp. 480-487). (Lecture Notes in Civil Engineering; Vol. 552 LNCE). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-8305-2_68

Chiucchiù, A. C., Misuraca, I., Brembilla, E., Pigliautile, I., Tenpierik, M. J., Pisello, A. L., de la Barra Luegmayer, P., & Luna-Navarro, A. (2024). Effect of Blue-Tinted Glazing on Thermal and Visual Perception in Neutral and Warm Thermal Conditions. Paper presented at CATE 2024 - Comfort At The Extremes, Seville, Spain. <https://repository.tudelft.nl/record/uuid:3f786662-2fe2-4210-b931-bcc8764af8de>

Contactpersonen

S. Bousios, Brite Solar Technologies BV, sbousios@britesolar.com

Prof.dr.ir. M.J. Tenpierik, TU Delft – Faculteit Bouwkunde, Afdeling Architectural Engineering + Technology, M.J.Tenpierik@tudelft.nl



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Het project Windows to the Future is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Regeling nationale EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland