



# Publieke samenvatting PGI Testomgeving Rijswijk

## Inleiding

Het Rijksvastgoedbedrijf onderzoekt met het Programma Groene Innovaties (PGI) onder meer innovatieve technologieën die bijdragen aan energiebesparing, klimaatadaptatie, natuur inclusiviteit en circulariteit in de Rijkshuisvesting en brengt deze in de praktijk. Verschillende innovaties worden binnen een testomgeving onderzocht, waarmee inzicht wordt verkregen of deze implementaties succesvol zijn voor verdere uitrol binnen het vastgoed van de Rijkskantoren. Er zijn meerdere testomgevingen waarbij innovaties worden onderzocht.

### Opzet onderzoek

Het kantoor van Rijkswaterstaat in Rijswijk is gedeeltelijk als testomgeving ingericht geweest. Op deze locatie zijn zowel lichtinnovaties als klimaatinnovaties getest op de bovenste drie verdiepingen van het pand. De 5e verdieping daaronder diende als referentie. Zo is onderzocht welke innovaties onder welke omstandigheden potentie hebben om op te schalen. Per innovatie zijn randvoorwaarden benoemd die bepalen of een innovatie toegepast kan worden bij een bepaald gebouw.

### Hypotheses

Om de innovaties te kunnen toetsen zijn per innovatie hypothesen opgesteld ten aanzien van het energiegebruik, het technisch comfort, de technische betrouwbaarheid en de gebruikerstevredenheid. Bijvoorbeeld: 'Toepassing van PCM leidt tot een vermindering van het energiegebruik voor koeling.' Op basis van monitoring en analyse van een groot aantal datapunten zijn deze hypothesen getoetst.

### Dataverzameling

Het gebouw is voorzien van een groot aantal sensoren (bGrid) die o.a. ruimtetemperatuur, lichtintensiteit en beweging meten. Deze Internet of Things (IoT) toepassing is een innovatie op zichzelf. Daarnaast zijn vanuit het GBS (Gebouwbeheersysteem) veel data beschikbaar, zoals ventilatiedebieten per verdieping en energiegebruiken van ventilatoren en koelmachine. Alle relevante data zijn verzameld in energiemonitoringssoftware. De data zijn gecontroleerd op volledigheid en betrouwbaarheid.

## De innovaties in de testomgeving Rijswijk

### PCM

In het plafond op de 7e etage zijn Phase Change Materials (PCM) toegepast. Dit PCM materiaal verandert bij een temperatuur van ca. 19 tot 24 °C van fase: van vast naar vloeibaar. Zo kan overdag warmte worden opgeslagen in het materiaal. Door 's nachts te koelen met koele buitenlucht, komt de warmte uit het PCM vrij en stolt het materiaal weer.

### Verlichting

Voor de kantoorverlichting zijn twee innovaties getest:

- **LED en Biodynamische verlichting**

Het energiegebruik van LED verlichting is vergeleken met dat van TL T5 verlichting. Daarnaast is het effect van biodynamische verlichting op gebouwgebruikers onderzocht. Hierbij is de basisverlichting aangepast aan het ritme van het daglicht. Dat betekent dat de lichtintensiteit en lichtkleur gedurende de dag veranderen.

- **Individuele werkplekverlichting**

Bij lokale verlichting van de werkplek met een bureaulamp is minder basisverlichting nodig. Licht en energie worden dan efficiënter en duurzamer ingezet.

### Individuele werkplekklimatisering

Bij werkplekconditionering wordt de werkplek lokaal verlicht, verwarmd of gekoeld op basis van de persoonlijke comfortinstellingen van de gebruiker. Doordat de werkplekken individueel geklimatiseerd kunnen worden, kan de ruimteklimatisering naar beneden worden bijgesteld. Naar verwachting leidt dit tot een reductie van het energiegebruik voor verwarming en koeling.

### Smart office software en Internet of Things

Een van de innovaties betreft het gebruik van de smart office software Mapiq. Hiermee kunnen gebouwgebruikers o.a. beschikbare werkplekken in het pand vinden of een vergaderruimte reserveren die het best past bij hun activiteit. De gebouwbeheerder krijgt met Mapiq inzicht in het gebruik van het kantoor. Vanwege privacy aspecten (AVG) bleek het gebruik van de Mapiq software niet toegestaan. Hierdoor is de innovatie niet verder toegepast en getest.

Daarnaast is het gebouw voorzien van sensoren van bGrid, waarmee o.a. lichtintensiteit, temperatuur en beweging in de ruimtes gemeten wordt. Deze IoT toepassing levert veel data waarmee de prestaties van de andere innovaties beoordeeld kunnen worden. De innovatie is niet separaat gemonitord.

### Beknopte weergave van de bevindingen

Onderstaand zijn enkele bevindingen weergegeven per innovatie, op basis van de monitoringsperiode en onderzoek naar gebruikerstevredenheid. Deze bevindingen zijn overgenomen uit de onderliggende rapportages van Vanbeek<sup>1</sup> (monitoring) en BBA<sup>2</sup> (verlichtingsonderzoek en comfortaspecten gebruikerstevredenheid).

.....  
<sup>1</sup> Rapportages Vanbeek 'opschaling innovaties PGI - kantoor Rijswijk, deel 1 (dec 2022) en deel 2' (juni 2023)

<sup>2</sup> Rapportages BBA 'deel 1 Comfortaspecten Testomgeving Rijswijk, PCM (deel 1), microklimatisering (deel 2) en verlichting (deel 3)' (oktober 2023)

# Innovatie verlichting

## Hypothesetoets verlichting

Functionaliteit	Hypothese	Hypothese aangenomen?	Opmerking
<b>Energie</b>	LED verlichting heeft een lager energiegebruik dan TL T5 verlichting (bij gelijk lichtniveau).	Ja	
<b>Technisch comfort</b>	De lichtopbrengst is gelijk aan TL T5 verlichting	Ja	
<b>Technisch</b>	Geen technische gebreken van de innovatie	Ja	Hypothese is niet aangenomen voor biodynamische verlichting vanwege twee armaturen met defecten van de driver.
<b>Gebruikers-tevredenheid</b>	De gebruiker is tevreden over de toepassing van de innovatie	Ja	Hypothese kon niet getoetst worden voor biodynamische verlichting vanwege (zichtbaar) stapsgewijze aansturing met effect op gebruikers-tevredenheid.

### Bevindingen monitoring energie

Bij een basis verlichtingsniveau van ca. 350 lux is het elektriciteitsgebruik van de ledverlichting op de 6<sup>e</sup> verdieping ca. 56% van het elektriciteitsgebruik van de TL T5 verlichting op de 5<sup>e</sup> verdieping (referentie). Bij lichtscenario's met een deel van de dag een hoger verlichtingsniveau neemt het elektriciteitsverbruik van de verlichting bijna evenredig toe met het verlichtingsniveau. Bij 1.200 lux max. is het verbruik van de biodynamische verlichting hoger dan dat van de TL- verlichting op de referentieverdieping.

### Bevindingen gebruikerstevredenheid

Het vanuit energetisch oogpunt vervangen van tl-verlichting door ledverlichting had in de testomgeving, bij gelijkblijvende lichtopbrengst, een neutrale invloed op het visueel comfort en de tevredenheid van de gebruikers. De toepassing van ledverlichting biedt daarnaast de mogelijkheid om te variëren in de lichtintensiteit en kleurtemperatuur (dynamische verlichting). Deze eigenschappen hebben in theorie de potentie om zowel het visueel comfort, de niet-visuele effecten van licht en het energiegebruik verder te verbeteren.

De resultaten van het onderzoek in de testomgeving laten echter zien dat het verhogen of verlagen van de achtergrondverlichtingssterkte ook een negatieve invloed kan hebben op het visueel comfort en de tevredenheid van de gebruikers met de verlichting. Het belang van het beheersen van grote contrasten in het taakgebied en binnen het kantoor als geheel is in het onderzoek bevestigd. Verder bleek dat gebruikers snel ontevreden worden als niet wordt voorzien in beïnvloedingsmogelijkheden op de werkplek of per zone zodat gebouwgebruikers de mogelijkheid hebben om 'bij te sturen' als een verlichtingssituatie op een bepaald moment als niet optimaal wordt ervaren. Dit is extra van belang indien afgeweken wordt van "standaard" lichtinstellingen.

# Innovatie PCM

## Hypothesetoets PCM

Functionaliteit	Hypothese	Hypothese aangenomen?	Opmerking
	Vermeerdering energiegebruik verwarming	Nee	
<b>Energie</b>	Vermindering energiegebruik koeling	Ja	
	Vermeerdering energiegebruik ventilatoren LBK	Ja	
<b>Technisch comfort</b>	Gelijkblijvend binnenklimaat	Ja	
<b>Technisch</b>	Geen technische gebreken van de innovatie	Nee	
<b>Gebruikers-tevredenheid</b>	Gelijkblijvende tevredenheid van de gebruikers bij toepassing van de innovatie.	Ja	Hypothese is getoetst voor de winter en tussenseizoen in de huidige opzet. Niet onderzocht voor de zomerperiode.

### Bevindingen monitoring energie

PCM blijkt in het stookseizoen te besparen op het energiegebruik voor verwarming en in de zomer op het energiegebruik voor koeling. Daarnaast vraagt PCM extra elektriciteit voor nachtventilatie in de zomerperiode. Vanwege te weinig goede meetdata kon dit extra energiegebruik voor de nachtventilatie slechts indicatief gekwantificeerd worden. Wel kan geconcludeerd worden dat het extra elektriciteitsverbruik voor nachtventilatie kleiner is dan de besparing op de elektriciteit voor de koelmachine.

Deze resultaten gelden voor dit specifieke pand en met de bijbehorende (plaatsing van de) specifieke PCM cassettes en voor de gehanteerde GBS instellingen.

Het technisch comfort was vergelijkbaar met de referentie.

De technische betrouwbaarheid was nog niet optimaal; bij enkele PCM cassettes trad lekkage op.

### Bevindingen gebruikerstevredenheid

- Op basis van dit onderzoek kan worden vastgesteld dat het toepassen van PCM's in deze situatie geen nadelige gevolgen heeft voor het thermisch comfort in het najaar en de winter. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de tevredenheid met de temperatuur in het gebouw in het algemeen laag was. Door het ontbreken van de zomerperiode kan niet worden vastgesteld wat de invloed is van het toepassen van PCM's op thermisch comfort in het zomerseizoen.
- Inzichten die nog nodig zijn voor verdere opschaling binnen hetzelfde gebouwtype zijn:
  - Bevindingen van het toepassen van PCM in het zomerseizoen;
  - Bevindingen van de invloed van het toepassen van PCM in vergelijking met een referentiesituatie waar het tevredenheidspercentage over de temperatuur hoger is (70%).

# Innovatie individuele werkplek klimatisering (comfortwerkplekken)

## Hypothesetoets individueel comfortwerkplekken

Functionaliteit	Hypothese	Hypothese aangenomen?	Opmerking
<b>Energie</b>	Vermindering energiegebruik verwarming	-	Niet goed meetbaar vanwege versturende invloed dak.
	Vermindering energiegebruik koeling	-	Niet goed meetbaar vanwege versturende invloed dak.
<b>Technisch comfort</b>	Vermeerdering energiegebruik door klimaatbureaus	Ja	Betreft klein verbruik, < 0,5 kWh elektriciteit per dag per bureau.
	Verbetering individueel binnenklimaat	-	Niet meetbaar.
	Gevolgen ruimteklimaat	Ja	Tijdens testperiode wordt aan eisen Klimaatklasse A voldaan.
<b>Technisch</b>	Geen technische gebreken van de innovatie	Ja	
<b>Gebruikers-tevredenheid</b>	De gebruiker is tevreden over de toepassing van de innovatie	Ja	In herfst en winter is tevredenheid vergelijkbaar met referentie. Voor zomerperiode niet bepaald.

## Bevindingen monitoring

De hypothesen voor individuele werkplekklimatisering die betrekking hebben op het energiegebruik voor koeling en verwarming konden niet goed getoetst worden. Dit wordt veroorzaakt door de invloed van het warmteverlies via het dak. De innovatie heeft geen technische gebreken vertoond. De impact van individuele werkplekklimatisering op het toekomstig energieverbruik van kantoren leidt naar verwachting tot reductie van het energiegebruik voor koeling en verwarming.

## Bevindingen gebruikerstevredenheid

De gebruikerstevredenheid van deze innovatie was hoger dan op de referentieverdieping. Op basis van dit onderzoek kan geconcludeerd worden dat de tevredenheid van gebruikers met de temperatuur en het licht in de winter en het najaar positief wordt beïnvloed door het voorzien in comfortwerkplekken. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat de tevredenheid met de temperatuur op de referentieverdieping laag was. Op de verdieping met de comfortbureaus was dit significant verbeterd. Door het ontbreken van de zomerperiode kan niet worden vastgesteld wat de invloed is van het toepassen van microklimatisering op thermisch comfort in het zomerseizoen.

## Opschaling

Op basis van de testresultaten van het Rijkskantoor in Rijswijk is ook nagegaan in hoeverre de onderzochte innovaties geschikt zijn voor opschaling bij Rijkskantoren. Deze resultaten zijn door Vanbeek ingenieurs vastgelegd in een opschalingsrapportage<sup>3</sup>.

### • PCM

Ten opzichte van conventionele koeling met een compressiekoelmachine en verwarming met een HR ketel kan met PCM gecombineerd met een lucht/water (l/w) warmtepomp en compressiekoelmachine een significante CO<sub>2</sub>-reductie behaald worden. Op basis van de specifieke testresultaten in Rijswijk is de indicatieve CO<sub>2</sub>-reductie van dit concept ca. 64%. Voor verwarming met Warmte- en Koudeopslag (WKO) met warmtepomp is de op basis van kentallen berekende CO<sub>2</sub>-reductie ca. 72%.

Voor een geslaagde toepassing van PCM moet een gebouw aan een aantal randvoorwaarden voldoen.

Met de huidige energietarieven, kosten voor PCM en overige uitgangspunten zijn de TCO kosten<sup>4</sup> na 20 jaar voor PCM met l/w warmtepomp iets hoger dan het scenario met hybride warmtepomp. Het WKO scenario heeft de laagste kosten. Wanneer een of meer van deze parameters wijzigen kan de ranking van de TCO kosten echter ook wijzigen. Met de nu berekende TCO kosten lijkt PCM vooral interessant bij gebouwen waar toepassing van WKO niet goed mogelijk is. Bijvoorbeeld omdat de ondergrond niet geschikt is, of omdat er geen ruimte beschikbaar is om bronnen te boren. Daarnaast bestaat bij

.....

<sup>3</sup> Rapportages Vanbeek 'opschaling innovaties PGI - kantoor Rijswijk, deel 2 betreft de opschaling' (juni 2023)

<sup>4</sup> TCO = Total Cost of Ownership

WKO het risico dat door onbalans van de bronnen het beoogde rendement niet behaald wordt.

- **LED verlichting**

In het testpand was de gebruikerstevredenheid over de LED verlichting vergelijkbaar met die van de TL T5 verlichting.

Door het lage energiegebruik (56% t.o.v. TL in het testpand) en de lange levensduur van LED verlichting ten opzichte van TL- en PL-verlichting zijn de TCO kosten van LED lager dan die van TL en PL. Daarmee is toepassing van LED geschikt voor opschaling en toepasbaar bij renovaties van Rijkskantoren en andere RVB panden.

- **Biodynamische verlichting**

De reden om biodynamische verlichting toe te passen is niet CO<sub>2</sub>-reductie, maar het verhogen van het welzijn en de productiviteit. In het uitgevoerde testprogramma is dit effect echter niet aangetoond. Daarom kan ook hier geen opschalingspotentieel aan toegekend worden. Hiervoor is verder optimalisatie van de uitwerking van het concept nodig.

- **Individuele werkplekverlichting met gedimde basisverlichting**

De testresultaten laten een indicatieve besparing zien van ca. 26% voor het elektriciteitsgebruik voor verlichting van kantoorruimtes. Voor een goede gebruikerstevredenheid moet aan een aantal randvoorwaarden voldaan worden, met name ten aanzien van een regeling per zone van de ruimteverlichting. In het testpand werd daar niet aan voldaan.

Indien voor deze innovatie de verlichting op ruimteniveau aangepast moet worden, zijn de investeringen relatief hoog in verhouding tot de besparing op energiekosten. De innovatie lijkt vooral geschikt voor ruimtes met een lage of sterk wisselende bezetting. Bij ruimtes met verlichting voorzien van aanwezigheidsdetectie is de innovatie niet zinvol. De innovatie kan opgeschaald worden naar een deel van de Rijkskantoren. Het potentieel van deze innovatie is niet zelfstandig te kwantificeren omdat dit samenhangt met de aanwezige of te vernieuwen basisverlichting.

- **Individuele werkplekklimatisering**

Ondanks dat niet goed getoetst kon worden in hoeverre deze innovatie energie bespaart blijft ze interessant. Zeker met het toenemen van flexwerken en de actuele temperatuurverlaging naar 19 °C in de gebouwen die RVB in 2022 heeft doorgevoerd. Het besparingspotentieel van de innovatie is in het stookseizoen namelijk het grootst bij ruimtes met een lage of wisselende bezetting, omdat dan weinig klimaatbureaus energie gebruiken. Daarnaast kan met de klimaatbureaus bij een lage ruimtetemperatuur het comfort verhoogd worden door de bureaubladverwarming. Het energiebesparende effect van deze innovatie kon in het testpand niet bepaald worden. In een eerder uitgevoerde

IMPEKT studie<sup>5</sup> is een totale besparing van 10% op het primair energiegebruik geconcludeerd bij 1 graad verlaging van de ruimtetemperatuur in de winter. Hierbij is ook rekening gehouden met het toegenomen elektriciteitsgebruik door de bureaus en het verminderd elektriciteitsverbruik als gevolg van algemene verlichting.

De innovatie kan interessant zijn, in eerste instantie bij matig geïsoleerde panden met een lage of wisselende bezetting.

## Evaluatie

Het testprogramma is gestart begin 2018. Nadat de innovaties en meetsensoren op de testverdiepingen waren aangebracht is in mei 2018 gestart met het monitoren en analyseren van de data van de innovaties. Onderstaand wordt beschreven welke aspecten een belangrijke rol hebben gespeeld tijdens de afgelopen testperiode.

### Innovaties

Elk van de innovaties had een eigen startmoment: PCM was in mei 2018 al operationeel, maar andere innovaties zijn later operationeel geworden. Ook is in de loop van het traject een innovatie met een gebruikersapp voor werkplek vinden en lokalisatie afgevalen. Omdat deze app geen relatie had met de benodigde functionaliteit van de andere innovaties leverde dit geen beperkingen op.

### Leveranciers van de innovaties

Innovatieve bedrijven zijn vaak ook start ups die bezig zijn met hun productontwikkeling en deze in de praktijk willen toepassen. De beheerorganisatie achter de innovaties is vaak ook beperkt in beeld bij de start-ups. Hierdoor duurt het vaak geruime tijd totdat technische issues op de juiste wijze zijn opgelost, om deze ook op professionele wijze te kunnen beoordelen. Langduriger uitval van innovaties in een 'live' werkomgeving kunnen ook leiden tot irritaties bij de gebruiker.

### Data

Het verkrijgen van voldoende betrouwbare data heeft veel tijd gekost. Bij aanvang is een selectie gemaakt van benodigde data uit de enorme hoeveelheid beschikbare data. Zo bevat het GBS (Gebouwbeheersysteem) data van ca. 40.000 datapunten. Gedurende de testperiode is enkele keren de dataselectie uitgebreid. Dit vanwege voortschrijdend inzicht in benodigde data voor een goede toetsing.

Bij het begin van het project zijn ook problemen opgetreden met de export van data naar de monitoringssoftware. Daarom is er een datavalidatie opgezet. Daarbij wordt voor de essentiële data op dagbasis gecontroleerd of de data ontvangen worden en of ze betrouwbaar zijn.

.....

<sup>5</sup> Onderzoek uitgevoerd in het kader van TKI-project Implementatie Persoonlijk Klimaat (IMPEKT). Hordijk, G.J. et. al, 'IMPEKT-werkplek. Gebruikerservaring en energiebesparing'. TUDelft, 2019.

## Regeltechniek

Bij de start van het testprogramma was de aanname dat de regeltechniek van klimaatinstallaties en verlichting optimaal ingesteld zou zijn. Uit analyse van de monitoringsdata en GBS instellingen bleek dat dit niet het geval was. Zo bleek bv. dat de PCM verdieping afwijkend van de andere verdieping op zaterdagen werd geventileerd en verwarmd zoals op weekdagen. Ook waren de instellingen voor zomernachtventilatie niet optimaal om de werking van PCM te kunnen testen.

Gedurende de testperiode is hierover meerdere malen overleg geweest met RVB, installateur en Vanbeek ingenieurs. Op basis daarvan zijn instellingen gewijzigd.

## Correctiemethodiek

Om de hypothesen van de innovaties goed te kunnen toetsen moest een methodiek ontwikkeld worden om meetdata te corrigeren. Dit speelt met name bij innovaties die invloed hebben op het warmte - en koudeverbruik van een verdieping. De gemeten warmte - en koudeverbruiken van een testverdieping zijn daarbij gecorrigeerd op basis van het verschil in bezetting en elektriciteitsgebruik tussen testverdieping en referentieverdieping. Deze correctiemethodiek is in de monitoringssoftware geprogrammeerd. Dat maakt het mogelijk om gecorrigeerde data en hypothesetoetsen te tonen over een vrij te kiezen periode (uur/dag/maand/jaar/...).

Om de correctiemethodiek te kunnen opzetten is een warmtebalans over de verdiepingen opgesteld en in de monitoringssoftware geprogrammeerd.