

Openbaar Eindrapport

Open VPP: Pilot Flexibilisering

Poolen van bestaande assets voor flexibiliteits- en energiemarkten



Datum: 31 Maart 2025

Dit project is uitgevoerd met subsidie van de Minister van Klimaat en Groene Groei, subsidieregeling Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Inhoud

Consortium	2
Aanleiding & doelstelling	3
Resultaten	4
Discussie, conclusies & aanbevelingen	7
Spin-off	8
Meer informatie	10

Consortium

Het project is gezamenlijk uitgevoerd door de volgende partijen:

Spectral (penvoerder) ontwikkelt energiemanagementsystemen voor het sturen van energie-assets en gebouwbeheersystemen, met een focus op slimme, zelflerende technieken (www.spectral.energy)

Greenchoice is een grote energieleverancier en programmaverantwoordelijke partij in Nederland (www.greenchoice.nl)

Greener Power Solutions B.V. is een leverancier van tijdelijke energie oplossingen met mobiele batterij containers voor evenementen en off-grid situaties zoals bouwlocaties (<https://greenerpowersolutions.com>)

Fraunhofer ITWM is een Duits onderzoeksinstituut voor industriële wiskunde en is actief in de ontwikkeling van methoden, algoritmen en software oplossingen voor toonaangevende slimme energiesystemen met als doel de energietransitie te versnellen (<http://greenbyit.itwm.fraunhofer.de>)

Prosoldiga B.V. is een onderneming die zich richt op de ontwikkeling en het beheer van locaties voor de productie van hernieuwbare energie

VVE Schoonschip is de Vereniging van Eigenaren van de woonwijk Schoonschip in Amsterdam, die met 46 huishoudens en zo'n 150 bewoners de ambitie heeft de meest duurzame drijvende woonwijk van Europa te realiseren. (<https://schoonschipamsterdam.org/>)

Aanleiding & doelstelling

Het Open VPP-project is opgezet als een pilot om aan te tonen dat verschillende energie-assets, zoals zonnepanelen, windparken, batterijen en warmtepompen, verspreid over meerdere locaties, collectief aangestuurd kunnen worden als één virtuele energiecentrale.

Het centrale uitgangspunt was het ontwikkelen van een Open Virtual Power Plant (Open VPP), een platform dat verschillende installaties, protocollen, energieleveranciers en energiemarkten met elkaar verbindt. Binnen dit platform moest de flexibiliteit van huishoudelijke en industriële energie-assets worden benut voor het leveren van balanceringsdiensten en handel op de energiemarkt.

Het project had als doel te bewijzen dat hernieuwbare energieopwekking, opslag en verbruik op verschillende locaties gezamenlijk aangestuurd konden worden als één flexibele eenheid op de elektriciteitsmarkten. Hiervoor werd een virtuele pool gecreëerd, bestaande uit huishoudelijke installaties (zoals warmtepompen en thuisaccu's), mobiele batterij opslagsystemen en grootschalige opwek installaties (zoals zonne- en windparken).

Deze installaties werden realtime aangestuurd via slimme algoritmes en lokale controllers, waardoor ze flexibel kunnen bijdragen aan netwerkdiensten zoals Frequency Containment Reserve (FCR) en automatic Frequency Restoration Reserve (aFRR). Daarbij werd gestreefd naar een optimale inzet op verschillende energiemarkten (Intraday, Day-Ahead en Onbalans). Dit zorgde niet alleen voor een betere energiebalans en netcapaciteit, maar genereerde ook extra inkomsten voor asset-eigenaren. Het project stimuleert zo de adoptie van flexibele energieoplossingen en verbetert de integratie van duurzame installaties in het energiesysteem.

Resultaten

Om deze doelstellingen te realiseren, werden vijf werkpakketten uitgevoerd met de volgende resultaten

Werkpakket 1. Voorspellen van lokale flexibiliteit

Een van de eerste stappen in het project was het ontwikkelen van betrouwbare voorspellingen voor de inzetbaarheid van lokale energie-assets. Dit werd gedaan door gebruik te maken van geavanceerde algoritmes en machine learning-technieken. Een belangrijk resultaat was de ontwikkeling van een restlast-voorspellingsmodel voor de bepaling van de hoeveelheid flexibiliteit. Dit model maakt gebruik van het XGBoost-algoritme om de elektriciteitsvraag en -opwekking binnen een energiegemeenschap zoals Schoonschip te voorspellen. De nauwkeurigheid van de voorspellingen werd verbeterd door externe factoren zoals temperatuur en zonnestraling mee te nemen.

Daarnaast werden er near realtime termijnvoorspellingen ontwikkeld voor zonne- en windenergie. Spectral ontwikkelde een near realtime zonne-energievoorspeller op basis van gemeten instralingsdata en historische productiegegevens. Voor windenergie werd gebruikgemaakt van gegevens uit bestaande SCADA-systemen om de verwachte productie te bepalen. Dit stelde het systeem in staat om flexibeler en efficiënter om te gaan met de beschikbare hernieuwbare energiebronnen.

Ook werd er een model ontwikkeld om te bepalen hoeveel batterijcapaciteit beschikbaar was voor flexibele inzet op de energiemarkten. Dit model maakte gebruik van machine learning-technieken zoals N-BEATS en kon met een hoge mate van nauwkeurigheid voorspellen wanneer en hoeveel energie de batterijen konden leveren. Om de logistiek en beschikbaarheid van mobiele batterij containers te optimaliseren, werd er een planningstool ontwikkeld. Deze applicatie integreerde live datastreams en historische analyse om efficiënter gebruik te maken van mobiele energieopslag

Werkpakket 2: Virtuele pooling van assets

Om energie assets effectief te kunnen combineren en als een collectieve eenheid aan te sturen, werd een virtueel poolingsysteem ontwikkeld. Dit systeem maakte het mogelijk om vraag en aanbod dynamisch te balanceren en zo de efficiëntie van het energiebeheer te verhogen.

Een van de kerncomponenten van dit systeem was de ontwikkeling van een pool-controller. Deze softwaremodule verdeelde de vraag uit de energiemarkt over het beschikbare aanbod vanuit de verschillende energie-assets op basis van economische en technische parameters, zoals kostenefficiëntie, capaciteit en ramp rates. Hierbij werd ook

rekening gehouden met andere lokale prioriteiten en diensten van individuele assets, waardoor de flexibiliteit van het systeem werd vergroot.

Daarnaast werd er een realtime monitoring- en foutdetectiesysteem ontwikkeld. Dit systeem detecteerde afwijkingen en storingen in de werking van assets, waardoor snelle interventies mogelijk werden en de betrouwbaarheid van de virtuele pool werd gewaarborgd.

Werkpakket 3: Integratie met Flex- en Energiemarkten

Een belangrijk doel van het project was om de virtuele energiecentrale commercieel inzetbaar te maken op verschillende energiemarkten. Dit vereiste de ontwikkeling van koppelingen tussen het systeem en bestaande marktmechanismen.

Greenchoice realiseerde toegang tot meerdere energiemarkten en zorgde voor de directe aansturing op de onbalans van assets op basis van realtime onbalansprijzen. Daarnaast werd toegang gerealiseerd tot de aFRR-markt. Tevens werden er koppelingen gelegd met GOPACS en ETPA opgezet. Hierdoor konden biedingen voor redispatch en congestiemanagement ingediend worden.

Om de lokale flexibiliteit uit Schoonschip beter te benutten, ontwikkelde Fraunhofer algoritmes die batterijopslag en warmtepompen in staat stelden bij te dragen aan balanceringsdiensten zonder comfortverlies voor bewoners. Een andere belangrijke innovatie was de prijsoptimalisatie van energiehandel. Door een genetisch algoritme te gebruiken, werd batterijopslag optimaal benut voor de day-ahead-markt en de onbalansmarkt.

Werkpakket 4: Ontwikkeling integratie en standaardisatie voor opschaling

Voor een bredere implementatie was standaardisatie van systemen en contracten noodzakelijk. Spectral ontwikkelde een REST-API volgens de Open-API specificaties waarmee externe partijen real-time data kunnen opvragen en setpoints kunnen versturen. Deze API zorgt voor interoperabiliteit en maakt het systeem schaalbaar voor toekomstige toepassingen.

Daarnaast werd onderzocht hoe de Schoonschip bewoners flexibiliteit in hun energiegebruik accepteren. Via workshops en co-creatie werd in kaart gebracht welke mate van externe sturing acceptabel was. Een belangrijk uitgangspunt voor de bewoners van Schoonschip was dat energiebeheer niet puur op financiële winst gestuurd wordt, maar juist op gedeelde gemeenschappelijke waarden zoals duurzaamheid, sociale impact en betaalbaarheid. Schoonschip heeft daarom zelf een set van waarde-gebaseerde regelstrategieën ontwikkeld, die de aansturing van alle type apparaten per energiemarkt koppelen aan de wensen en prioriteiten van bewoners.

Daarnaast bleek dat bewoners controle willen behouden over hun flexibiliteit zonder dat dit ten koste gaat van hun comfort. Dit inzicht leidde tot de ontwikkeling van flexibele contractvormen. Greenchoice en Schoonschip onderzocht drie contractvormen: een contract op basis van dynamische prijzen, een contract met eigen nominatie en onbalansverrekening, en een vast tarief met opbrengstdeling van flexibiliteitsdiensten.

Werkpakket 5: Pilot

De implementatie van de pilotfase was een cruciaal onderdeel van het project. Hierin werden de theoretische modellen getest in de praktijk en werd beoordeeld of de technologische en economische aannames stand hielden onder realistische omstandigheden.

Spectral voerde uitgebreide pre-engineering uit, waarbij de specificaties voor hardware, netwerkinfrastructuur en EMS-integratie werden vastgelegd. Op Schoonschip werden batterijopslagsystemen en warmtepompen aangestuurd op basis van marktprijzen en onbalanssignalen. Dit stelde het consortium in staat om te testen of flexibele assets daadwerkelijk een bijdrage kunnen leveren aan energiebalancing zonder dat bewoners hinder ondervinden in hun dagelijks gebruik van energie.

Binnen de pilot werden diverse stuurmodellen voor zowel warmtepompen als batterijen geëvalueerd. Daarbij werd gekeken naar de mogelijkheid om verschillende energiediensten te combineren, zoals prijsoptimalisatie en onbalanshandel. De resultaten toonden aan dat het technisch mogelijk is om deze diensten te stapelen, maar dat er nog uitdagingen liggen op economisch en organisatorisch vlak. Vooral de coördinatie tussen verschillende markten en de impact op de inkomstenverdeling tussen asset-eigenaren en marktpartijen vraagt verdere verfijning.

Tijdens de testfase werden waardevolle inzichten verkregen over de praktische implementatie van een Open VPP. Dit omvatte onder andere de integratie van kleine en grote energie-assets, de respons van het systeem op marktsignalen en de betrouwbaarheid van geautomatiseerde sturingsmechanismen. Daarnaast werd duidelijk dat gebruikersacceptatie een essentiële factor is voor opschaling. Bewoners willen voldoende controle behouden over hun energiegebruik en verwachten transparantie in de verrekening van energieopbrengsten.

Discussie, conclusies & aanbevelingen

Tijdens de uitvoering van het project kwamen diverse uitdagingen naar voren op technisch, organisatorisch en beleidsmatig vlak. Technisch gezien bleek de aFRR-prekwalificatie van batterijen complex door het ontbreken van duidelijke richtlijnen, wat leidde tot vertragingen in de implementatie. Daarnaast vormde de unieke netaansluiting met behulp van de experimenteerregeling van Schoonschip een beperkende factor, waardoor bepaalde balanceringsdiensten niet benut konden worden. De samenwerking tussen bewoners, energieleveranciers en netbeheerders bracht administratieve en contractuele uitdagingen met zich mee. Bewoners wilden inspraak houden in de aansturing van hun energie-assets, wat standaardisatie bemoeilijkte. Daarnaast zorgden marktontwikkelingen en beleidswijzigingen voor extra onzekerheid. Fluctuaties in de energiemarkt maakten het moeilijk om de exacte economische voordelen van de flexibiliteitsdiensten direct vast te stellen.

Het Open VPP-project heeft aangetoond dat een collectieve, flexibele energieaanpak technisch en economisch haalbaar is. Het bundelen en coördineren van energie-assets leidt tot een efficiënter gebruik van hernieuwbare energiebronnen en kan bijdragen aan netstabiliteit en kostenreductie voor gebruikers. De technologie is schaalbaar en kan in andere energiegemeenschappen worden toegepast, mits contractmodellen en technische standaarden verder worden verfijnd. Flexibele handel op de energiemarkt biedt economische voordelen, maar verdere verfijning van de regelgeving en technische implementatie is nodig om maximale opbrengsten te realiseren. Toekomstige implementaties moeten zich richten op het versterken van de samenwerking met netbeheerders en het doorontwikkelen van monitoring- en optimalisatiemethoden. Dit project heeft waardevolle inzichten opgeleverd voor de energietransitie en biedt een blauwdruk voor de verdere ontwikkeling van virtuele energiecentrales.

Bijdrage aan de doelen van de regeling

Het project heeft bijgedragen aan het programma DEI Flexibilisering van het energiesysteem. Er zijn nieuwe software technieken ontwikkeld die inzicht geven in de flexibiliteit. Er is software ontwikkeld en getest voor de assets. Daarnaast worden de ontwikkelingen in producten omgezet en deze verder gecommercialiseerd, waarmee meer flexibiliteit ontstaat.

Spin-off

Spectral

De ontwikkelde systemen zijn de basis geworden voor een aantal Spectral producten, die ondergebracht zijn binnen het STELLAR platform. Dit platform is een "one-stop-shop" platform voor asset eigenaren / operators, energie traders (BRP's, BSP's en CSP's) en ESCO's om individuele assets en asset portfolios slim integraal aan te sturen en te optimaliseren. De uitgebreide productsuite van STELLAR maakt een breed scala aan toepassingen voor energie management mogelijk en voegt waarde toe aan de gehele verticaal geïntegreerde waardeketen. Bijvoorbeeld:

- Partijen met programmaverantwoordelijkheid (PV of BRP's) kunnen asset aansturen en waarde creëren op basis van marktontwikkelingen zoals de onbalansmarkt.
- Balancing service providers (BSPs) kunnen met het platform balanceringsdiensten (FCR, aFRR) aan Tennet aan te bieden.
- Asset eigenaren kunnen in real time de performance van assets monitoren en deze aansturen om bijvoorbeeld meer van de eigen duurzame energie te gebruiken.
- Bovenstaande partijen kunnen dit doen binnen de contractuele en fysieke randvoorwaarden van de netbeheerders (oa ATO's, CBC, en de RTI)

Een overzicht van het STELLAR platform en onderliggende producten is hier te vinden:

<https://spectral.energy/product/stellar/>

Greenchoice

Binnen Greenchoice worden bovengenoemde markten gebruikt als bouwblokken voor verder propositie ontwikkeling voor zowel zakelijke klanten als consumenten. Greenchoice is volledig ingericht om alle mogelijke markttoegang te faciliteren voor haar klanten.

Doorontwikkeling zal plaatsvinden op het gebied van optimalisatie van de inzet van flexibele assets op financieel en duurzaam vlak. Daarbij wordt onderzocht welke mogelijkheden er zijn om klanten extra zekerheid te bieden of juist volledige flexibiliteit. Hierbij is het van belang dat klanten geen risico's lopen die ze zelf niet kunnen overzien of kunnen dragen.

In deze ontwikkeling groeit Greenchoice van groot naar klein. Grootschalige projecten zijn in operatie gemakkelijker aan te sturen en te monitoren, terwijl de groei op kleinschalige assets bij consumenten thuis steeds sneller groeit. Voor de consumentenmarkt geldt verder dat er komende jaren een aantal drempels worden weggenomen (eg. salderingsregeling), waardoor we een versnelling verwachten in dit segment.

Voor de zakelijke markt zien we nu al een sterke groei om flexibel inzetbaar vermogen te gebruiken om mogelijkheden te scheppen voor ondernemers in een situatie waarin congestiebeperkingen een rem zetten op hun ambities. Greenchoice zet vol in op het bieden van integrale oplossingen door middel van Greenchoice Integrated Solutions.

Greener

Greener heeft door het ontwikkelen van de planning- en voorspellingstool inzichten gekregen in de mogelijkheden omtrent optimalisaties van energielevering middels (a) controle over renewables en (b) logistieke strategie.

Greener tracht emissieloos energie te leveren, en doet dit onder andere door zoveel mogelijk lokale opwek middels renewables te leveren. Enkel wanneer er onvoldoende duurzame energieproductie op locatie is, bijvoorbeeld wanneer de zon niet schijnt, wordt Greener's EMS genoodzaakt ervoor te kiezen om vervuilende stroombronnen (c.q. dieselaggregaten) te gebruiken om energievoorziening te garanderen. Dit gebruik kan geminimaliseerd worden door accurate voorspelling van lokaal verbruik in combinatie met voorspellingen van lokale opwek. De eerste stappen hiervoor zijn gezet in een project waarbij door betere inzichten in zonneproductie dieselverbruik in sommige weken naar 0 is gebracht.

Een andere mogelijkheid voor emissieloze energie is het continue (dagelijks) vervangen van lege Mobile Battery Energy Storage Systems (MBESS) met volle MBESS. Om dit zo emissieloos én financieel aantrekkelijk mogelijk te maken heeft Greener nu ervaren hoe noodzakelijk gedistribueerde laadlocaties zijn om transportbewegingen te minimaliseren en flexibiliteit middels energiehandel te benutten.

Tevens zal Greener richting de toekomst haar vloot blijven uitbreiden, en daarbij zal de noodzaak voor productielocaties gebruikt kunnen worden om flex te leveren, cq het seizoenseffect van de verhuur op te vangen. Op basis van dit project zijn er andere locaties die nu onderzocht worden, waarbij altijd wordt gekeken naar inkoppeling, en samenwerking met andere lokale energie gebruikers, en opwekkers om op dit manier een optimale oplossing te vinden op het lokale laag- en hoogspanningsnet, ofwel betrokken partijen.

Schoonschip

Schoonschip biedt kansen voor spin-offs en vervolgactiviteiten door de betrokkenheid van haar eigen energie-experts bij innovaties in zowel Nederland als daarbuiten. Hoewel Schoonschip zelf geen schaalbaar businessmodel heeft, kan het als leeromgeving dienen voor toekomstige woonwijken. Bewonersvertegenwoordigers spelen hierin een belangrijke rol. Schoonschip blijft actief door presentaties en workshops te geven en is

voornemens om deel te blijven nemen aan samenwerkingsverbanden, zodat de opgedane kennis en ervaringen vertaald kunnen worden naar andere locaties, zowel in Nederland als internationaal.

De lessen die bij het laadplein van Prosoldiga geleerd zijn kunnen meegenomen worden in een ontwerp voor mogelijke nieuwe locaties van de mobiele opslagsystemen. Afhankelijk van de locatie, aansluiting met de netbeheerder, (seizoen)gebruik van de aansluiting kan een laadplein ontwikkeld worden die met meer of minder opslagsystemen gerealiseerd kan worden.

Fraunhofer ITWM heeft de ontwikkelingen binnen dit project specifiek voor dit project gebruikt en er zijn nog geen specifieke spin-off activiteiten te melden. De resultaten worden echter intensief gebruikt als succesverhaal bij acquisitie en er worden vervolgonderzoeken gezocht.

Meer informatie

Voor meer informatie en digitale beschikbaarheid van dit rapport kan je contact opnemen met Spectral via www.spectral.energy en info@spectral.energy