

# CELLULAR SMART GRID PLATFORM

## GEGEVENS PROJECT

- Projectnummer : TKISG02008
- Projecttitel : Cellular Smart Grid Platform (CSGriP)
- Penvoerder en medeaanvragers : Alfen, ACRRES, Alliander, Avans, Bredenoord, DNV GL, HAN, TUD
- Projectperiode : 1-1-2013 tot 31-12-2017

## INHOUDELIJK EINDRAPPORT

- **Samenvatting**

Dit rapport beschrijft de uitvoering en de resultaten van het Cellular Smart Grid Platform (CSGriP) project. In het CSGriP project is het concept voor autonome energiecentrale cellen ontwikkeld, gebouwd en getest. In CSGriP cellen wordt gebruik gemaakt van de netfrequentie om op de tekorten en overschotten van energie te anticiperen door de opwekkers en verbruikers.

Hierbij lag de focus op duurzame opwekkers.

Het CSGriP project is een unieke samenwerking tussen industrie en de academische wereld.

Het project is afgesloten met de succesvolle bouw en test van CSGriP site bij ACRRES in Lelystad, alwaar ook de afsluitende event heeft plaatsgevonden.

- **Inleiding**

Het CSGriP project is een vervolg op het SOPRA project (EFRO subsidie Gelderland Overijssel, 2011-2013). In het SOPRA project is een autonome energiecentrale (cel) bestudeerd voorzien van een batterij opslagsysteem, hernieuwbare energiebronnen (zonnepanelen en wind turbines) en een dieselgenerator. Deze cel werd gebruikt voor de energievoorziening van een systeem zonder netkoppeling (eiland bedrijf).

In het CSGriP project wordt de koppeling van zo'n cel bestudeerd. Dit kan een netkoppeling zijn: waarbij een overschot aan hernieuwbare energie, welke niet gebruikt kan worden voor lokaal gebruik in het systeem, aan het net geleverd kan worden; of waarbij een tekort aan energie, van het net afgenomen kan worden. Daarnaast kan het een koppeling van twee of meer cellen zijn, die elkaar ondersteunen in geval van een tekort of overschot aan energie.

In het geval van instabiele netten, zoals in ontwikkelingslanden, moet de CSGriP cel afgeschakeld worden van het net op het moment dat het regionale net uitvalt, om zodoende de energievoorziening van het systeem te garanderen. Dit betekent dat de cel dan autonoom verder gaat. Als de net-uitval verholpen is, dient de cel weer aangesloten te worden. Dit vraagt om afstemming van de twee energie systemen. In het geval van een net bestaande uit een aantal gekoppelde cellen moet de werking van de afzonderlijke systemen continue ten opzichte van elkaar geoptimaliseerd worden, teneinde een gelijkmatige verbruik van de afzonderlijke te bewerkstelligen.

Deze afstemming kan hardware matig gebeuren via een DC-DC back koppeling en met ICT communicatie. In het CSGriP project is de mogelijkheid van frequentie sturing onderzocht met als doel om koppeling mogelijk te maken zonder gebruik van ICT. Hiermee is een veilige en betrouwbare operatie mogelijk zonder gevaar van een cybersecurityaanval. Het CSGriP principe bestaat eruit dat de systeemfrequentie gebruikt wordt als stuurparameter: als de frequentie buiten een bandbreedte valt grijpt het regelsysteem in opdat het energiesysteem stabiel blijft.

- **Doelstelling**

Het Cellular Smart Grid Platform (CSGriP)-project wil het elektriciteitsnet betrouwbaarder maken door de netfrequentie als communicatiesignaal te gebruiken. Door gebruik te maken van de netfrequentie voor de besturing van autonome 'energiecentrales' (cellen) bestaande uit een opslagsysteem met hernieuwbare productie- en flexibele consumptie-eenheden, is er geen andere communicatie vereist voor een veilige en betrouwbare werking (tijdens netstoringen of geplande eilandwerking). De productie- en consumptie eenheden zijn geprogrammeerd om te reageren op de netfrequentie die wordt bepaald door lokale batterij-omvormers.

- **Werkwijze**

Binnen het CSGriP project zijn algoritmes ontwikkeld voor de frequentiesturing van energiesystemen (cellen). Deze algoritmes zijn in simulatiemodellen getoetst voor het koppelen en ontkoppelen van cellen onderling of met een netwerk.

De vergaarde kennis is gebruikt om frequentie sturing te implementeren in hardware. Daarvoor is gewerkt aan vier demo's.

**Tabel 1 Overzicht demos**

DEMO	DOEL	TASKS
ACRRES demo	Bestudering van de (ont)koppeling van de energiecel van de ACCRES test site door middel van frequentiesturing	task 6, 8, 10
HAN demo	Validatie van frequentiesturing op HAN-systeem met EV-laders en smart meters	task 5, 6, 10
Domotica demo	Validatie van frequentiesturing op HAN-systeem met domestic appliances (Hue lampen, ventilatoren en elektrische verwarmers)	task 4,10
TUD-Avans demo	bestudering van de (ont)koppeling van twee kleinschalige cellen door middel van frequentiesturing op het SEND-lab (Avans)	task 6, 10

Hieronder volgt een overzicht van bijdragen van de verschillende partners en manieren van samenwerking.

Op de TUD en bij DNV GL zijn simulatiemodellen ontwikkeld om de (dis)connectie van een cel aan een hoofdgrid te simuleren en om de (dis)connectie van twee (of meer) cellen te simuleren. Daarvoor is een droop controlefunctie ontwikkeld en geïmplementeerd in de modellen. Deze droop controlefunctie is geïmplementeerd in de vier verschillende demo's.

Op de HAN is een back-to-back demo gebouwd met een Vacon inverter waarop de frequentie controle is getoetst in combinatie met EV-laders en smart meters.

Avans heeft een demo koffer gebouwd met een domotica systeem waaraan de volgende gebruikers gekoppeld zijn:

- Hue lamp (frequentie controle van lichtkleur en-intensiteit)

- Ventilator (frequentie controle van aan- uit schakelen en van rotatiesnelheid)
- Elektrische verwarmers (frequentie controle aan- uit schakelen en van vermogen)

Deze mobiele demo is ook getoetst bij de HAN in combinatie met de back-to-back demonstrator.

Avans en TUD zijn binnen het kader van het SEND-lab een kleinschalige demo gaan bouwen met als doel om de frequentiekoppeling tussen twee cellen te bestuderen.

Op de smart-grid testsite van ACRRES is een microgrid gebouwd bestaande uit een 0,5MW Li-ion batterij container van Alfen, hernieuwbare opwek bestaande uit onder andere een biogas-WKK (warmtekrachtkoppeling unit), PV-panelen en windturbines van Bettink, en verbruik in de vorm van een biomassa vergister en een laadpaal voor elektrische voertuigen.

De EMS (Energy Management System) van de batterij container heeft de mogelijkheid om op basis van frequentie monitoring elk aangesloten apparaat naadloos op- of af- te schakelen, terwijl het totale systeem stabiel blijft. Bijvoorbeeld, als er overproductie wind of zon is kan de WKK afgeschakeld worden om biogas te besparen. Of als er een tekort is aan wind en zon kan het laadvermogen van de laadpaal verminderd worden om de vraag naar elektriciteit te reduceren. De windturbines zijn tevens af te regelen op een gewenste productie door middel van het pitchen van de turbinebladen. Daarnaast kan de EMS het totale energiesysteem ontkoppelen van het elektriciteitsnet. In deze off-grid modus moet de batterij het microgrid stabiliseren door te besluiten welke onderdelen op- of afgeschakeld moeten worden om stabiliteit te waarborgen. Vervolgens speelt de EMS een belangrijke rol bij het koppelen van het microgrid aan het elektriciteitsnet.

Bij het realiseren van deze demo zijn veel partners betrokken geweest:

- ACRRES heeft de test site en de aansluiting van de container en de productie en consumptie units gefaciliteerd.
- Alfen heeft de container geleverd en de frequentiecontrole algoritmes ingebouwd
- Alliander heeft de aansluiting van de container en de productie en consumptie units gerealiseerd.
- Alfen en Alliander hebben het testplan opgezet
- Alliander heeft het testplan uitgevoerd en geanalyseerd
- HAN en DNV GL hebben bij de verschillende stappen ondersteuning geboden
- Alliander en HAN hebben de frequentie gestuurde bi-directionele laadpaal ter beschikking gesteld.

Binnen het CSGriP project hebben partners onderling samengewerkt teneinde de demo's te realiseren en zijn reguliere projectvergaderingen georganiseerd waarin de projectvoortgang werd besproken.

• **Resultaten A) van het project zelf en B) mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten**

In Tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de deliverables.

**Tabel 2 Overzicht deliverables**

TITEL	AUTEUR	TAAK
TUD report 1: Power-frequency control, demand side control, power control and grid stability issues (January 2016)	TUD	tasks: 1,2
TUD report 2: Power-frequency control, demand side control, power control and grid stability issues (October 2017)	TUD	tasks: 1,2

Cellular Smart Grid Platform (CSGriP) Demos: Demonstration set-ups	Ballard Asare-Bediako, Redouane Eddeane	tasks: 1,4,5,6,10
Small-scale demo of two CSGRIP containers (December 2018)	Redouane Eddeane, Seunyeon Kim	tasks: 6,10
Cellular Smart Grid Platform: ACRRES smart-grid test site results	Sander Huurman, Arne Kaas, Andries Visser, Marcel van der Voort, Evert Raaijen, Nynke Verhaegh, Jos van der Burgt and Jan Bozelie	tasks: 6, 8, 10
Off-grid variable frequency prosumer control: Description of Cellular Smart Grid Platform (CSGriP) tests and results	Jan Bozelie, Yuri van Geffen, Arne Kaas, Jos van der Burgt	tasks: 6, 8, 10

In Tabel 1 worden potentiële spin-off activiteiten vermeld.

### Tabel 3 Overzicht spin off activiteiten

SPIN-OFF ACTIVITEITEN VAN CSGRIP	
1	Een container die gelijk is aan de geteste container wordt geleverd aan een klant die is aangesloten op een zwak net, dit past precies bij de vraagstelling van CSGriP
2	Het CSGriP model wordt gebruikt in andere projecten van DNV GL
3	De testopstellingen van HAN en AVANS worden in het onderwijscurriculum verder toegepast
4	De testopstelling van ACRRES is ontwikkeld met kennis uit het CSGriP project en zal verder gebruikt worden om derden de gelegenheid te geven hun smart-grid producten te testen in samenwerking met ACRESS en partners.
5	Alliander gaat de mogelijkheden in zijn net verder onderzoeken: kan een deelnet blijven doorgaan als een hoofdnet uitvalt?
6	Alfen onderzoekt voor verschillende klanten of we CSGriP functionaliteiten kunnen toepassen in projecten. Hierbij moet gedacht worden aan: ziekenhuizen van NGO's en fabrieken in Afrika, vakantie resorts over de hele wereld, etc.

#### • Discussie, conclusie en aanbevelingen

In het CSGriP project zijn algoritmes voor frequentiesturing ontwikkeld en geïmplementeerd in demo's. Er is aangetoond dat het CSGriP principe werkt zoals bedoeld: de EMS kon de systemen aangesloten op de batterij sturen op basis van een frequentiemeting waarbij het energiesysteem stabiel bleef. Ook kon de EMS het energiesysteem schakelen tussen een on-grid en off-grid mode. Het was de bedoeling om met deze demo meetresultaten te verzamelen gedurende een langere testperiode waarin seizoensinvloeden op de hernieuwbare energieproductie gemeten konden worden. Dat is helaas niet gelukt.

Het koppelen en ontkoppelen van twee cellen was niet mogelijk met cellen op MW schaal omdat er maar één batterij container was. Daarom is een begin gemaakt met het bouwen van een demo binnen het kader van het Smart Energy Delivery lab platform van Avans. Dit SEND-laboratorium is een laagspannings micro-grid dat gebruik maakt van componenten met laag vermogen waardoor experimenten gedaan kunnen worden zonder gevaar voor elektrische schokken of degradatie van apparatuur. Eerste resultaten zijn verkregen met het koppelen van twee cellen.

## UITVOERING PROJECT

- **De problemen (technisch en organisatorisch) die zich tijdens het project hebben voorgedaan en de wijze waarop deze problemen zijn opgelost**
- **Toelichting op wijzigingen ten opzichte van het projectplan**

Tabel 4 geeft de toegekende projectwijzigingen aan.

**Tabel 4 Projectwijzigingen**

Toekenning wijziging	
02-03-2016	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pfixx Solar treedt uit het consortium</li><li>• Wind Energy Solutions (WES) verlaat het consortium</li><li>• ACRRES (Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek) treedt toe tot het consortium</li><li>•</li><li>• Nieuwe einddatum: 30-06-2017</li></ul>
28-11-2016	<ul style="list-style-type: none"><li>• Nieuwe einddatum: 31-12-2017</li></ul>

Toelichting: Twee partners hebben het consortium in een vroegtijdig stadium moeten verlaten. De core business van Pfixx kwam niet meer overeen met de CSGriP doelstelling en WES kwam in een faillissement terecht.

ACRRES heeft zich toen aangesloten bij het consortium waardoor het mogelijk was om een demo op de testsite van ACRRES te realiseren. Hiervoor werd een projectverlenging toegekend.

Omdat het organiseren van het energie opslagsysteem meer tijd kostte dan verwacht heeft het project een tweede keer een verlenging gekregen. Het is niet meer gelukt om gedurende een langere periode meetresultaten te vergaren teneinde de impact van seizoensinvloeden op de hernieuwbare energieproductie mee te nemen. Dat is helaas niet meer gelukt.

- **Toelichting wijze van kennisverspreiding**

De TUD heeft het volgende artikel gepubliceerd:

Design of Plug-In Electric Vehicle's frequency-droop controller for primary frequency control and performance assessment, S. Izadkhast, P. Garcia-Gonzalez, P. Frias and P. Bauer, IEEE Transactions on Power systems, Vol32. No 6, November 2017

<http://ieeexplore.ieee.org/document/7836334/>

De volgende masterstudent rapporten zijn gepubliceerd:

**Tabel 5** Overzicht van master student rapporten

TITEL	AUTEUR	PARTNER
Experimental verification for seamless mode transitions of multiple microgrids using fuzzy-based droop controller	Thijs Vral	TUD
Frequency based cellular microgrid control	Antía Varela Souto	TUD
Optimization & energy management of a microgrid based on frequency communications	Yuguang Zheng	TUD
Virtual inertia emulation in islanded microgrids with energy storage system	Nikolaos Bilidis	TUD, DNV GL
Seamless transitions of multiple midrogrids between the backbone interconnected and the islanded operational modes	Behzad Naeinian	TUD
A distributive approach of microgrid control based on system frequency	Ashil Thomas	TUD, DNV GL
Experimental verification for seamless mode transitions of multiple microgrids using fuzzy-based droop controller	Seungyeon Kim	TUD
Frequency regulation with EV	Derryl Miranda	DNV GL
Mapping the impact of high temporal resolution data on the performance of a battery energy storage system	Janne Poortinga	DNV GL
Frequency Based $\mu$ Grid Control: Dynamical Simulations of Demand Side Management using Grid frequency for the CSGriP Project	Thijs Vral	TUD, Alfen
Potentials to Increase the Penetration Level of EV Charging Stations in Dutch LV Grids, by Incorporating Solar Panels and Storage Solutions	Nikiforos Psaltis	DNV GL
International Market Selection SOPRA	Alejandro Blanco Canelos	HAN

• **Toelichting PR project en verdere PR-mogelijkheden**

Tijdens de uitvoering van het CSGriP project zijn er vele PR activiteiten geweest. Hierbij een paar voorbeelden:

1. Presentatie Dutch Power Symposium More Guts More Glory: 11 april 2013
2. Presentatie Alliander Allstore 27 mei 2013
3. Themamiddag Energie Opslag 20 juni 2013
4. Werkconferentie Topsector Energie 19-9-2013 te Arnhem
5. Genie Symposium 26 september 2013
6. Artikel dagblad Trouw 31-10-2013
7. Bezoek Minister van Energie Nigeria Prof Nebo november 2013
8. Presentatie Cleantech Business Day 11 december 2013
9. Presentatie TKI S2SG community 25 maart 2014
10. Kien Technoday 16 april 2014
11. HAN promotie video September 2014
12. Gekozen als één van de 100 toekomstmakers October 2015
13. Presentatie IEEE conference Eindhoven 2015
14. Guest lecture Master of Control Systems HAN 10 juni 2015
15. Web Artikel Top Sector Energie 7 mei 2014
16. Diverse Press Releases Alfen

17. CSGriP afsluitende event:

- Ter afsluiting van het CSGriP project en ter opening van de test site is bij ACRRES een media event georganiseerd op 16 januari 2018. Het programma bestond uit presentaties, de openingshandeling, een rondleiding en een netwerkborrel met mini-beursvloer. Er waren 135 bezoekers en dat toonde aan dat er grote belangstelling is zowel voor de test site van ACRRES als voor een real-life demo van een smart grid.
- <http://acrres.nl/opening-acrres-smart-grid-testsite-en-csgrip-projectresultaten/>