

Final report

1.1 Project details

Project title	NetVind
Project identification (program abbrev. and file)	64018-0024
Name of the programme which has funded the project	Forsk-EL (2016-1-12433)
Project managing company/institution (name and address)	Eniig Forsyning A/S (EnergiMidt Forsyning og Service A/S)
Project partners	DTU Wind Energy Dansk Energi
CVR (central business register)	34042462
Date for submission	8. September 2015

1.2 Short description of project objective and results

The main objective of the project is to develop control strategies to improve the operation of the distribution network with a high penetration of wind power by exploiting/using wind power plant control capabilities. The focus of the developed strategies is to reduce network losses by optimizing the reactive power flow.

Simulations based on measurements have shown that in the period from December 1st 2018-June 13th 2019, the grid loss was reduced by 6%, which (with 100% data) corresponds to 37 MWh per 195 days. If this simulation can be extrapolated to the national level, a reduction of the grid loss of 6% will have a value of DKK 45m. This is seen in the light of a total efficiency requirement for the distribution companies of DKK 70m. Which is extremely interesting and means that the accumulated knowledge in the project has created interest in this area.

Projektet søger at opnå effektiv integration af vedvarende energi under hensyntagen til den overordnede systemsikkerhed ved også at optimere selve transmissionen af vindmøllestrømme op ad i systemet, således unødvendige tab som følge af det nye produktions-/forbrugsscenarie minimeres og optimeres vha. allerede installeret effektelektronik i vindmøllens inverter.

Simuleringer på baggrund af målinger har vist at i perioden fra 1. dec 2018-13. juni 2019 er nettabet reduceret med 6%, hvilket (med 100% data) svarer til 37 MWh pr 195 dage. Hvis dette tal kan ekstrapoleres til landsplan vil en reduktion af nettabet på 6% have en værdi af 45 mio. kr. Dette set i lyset af et samlet effektiviseringskrav for distributionsvirksomhederne på 70 mio. kr. Hvilket jo er yderst interessant og betyder, at den opsamlede viden i projektet har skabt interesse for dette område.

1.3 Executive summary

Projektet søger at opnå effektiv integration af vedvarende energi under hensyntagen til den overordnede systemsikkerhed ved også at optimere selve transmissionen af vindmøllestrømme op ad i systemet, således unødvendige tab som følge af det nye produktions-/forbrugsscenarie minimeres og optimeres vha. allerede installeret effektelektronik i vindmøllens inverter.

Projektet har via simuleringer på måledata vist, at nettabet kan reduceres med 6%, hvilket, hvis det ekstrapoleres til nationalt plan, svarer til en værdi på 45 mio. kr. Projektet har været

udfordret af først export af data fra SCADA-systemet og sidenhen på stabiliteten af data fra SCADA systemet. Derudover har projektet været udfordret på data kommunikationen mellem SCADA og Vindmøllens Plant Controller. En anden vigtig "opdagelse" i projektet er en stigning i modsat retning af effekten (reverse power flow) i 10 kV nettet, og dette demonstrerer, at en betydelig mængde VE-energi bliver installeret i lavspændingsnettene. Desværre er der pt ingen mulighed for at overvåge og have kendskab til disse VE produktions anlæg i real tid, (da de fjernaflæste målinger er historiske data).

Projektet har bidraget til en ny PhD-afhandling, 2 master projekter har bidraget til projektet og der er godkendt 2 konference papers og 6 internationale præsentationer, samt yderligere 3 journal artikler er under udarbejdelse.

1.4 Project objectives

Projektet søger at opnå effektiv integration af vedvarende energi under hensyntagen til den overordnede systemsikkerhed ved også at optimere selve transmissionen af vindmøllestrømme op ad i systemet, således unødvendige tab som følge af det nye produktions-/forbrugsscenario minimeres og optimeres vha. allerede installeret effektelektronik i vindmøllens inverter.

1.5 Project results and dissemination of results

Formålet er at udnytte de tilsluttede vindmøllers reguleringsmuligheder til at opnå optimal drift af elforsyningsnettet under hensyntagen til den overordnede systemstabilitet. Dette opnås ved:

- At digitalisere kommunikationen mellem enheder (vindmøllens inverter) og netselskabets driftsovervågningssystem i henhold til IEC 61850.
 - Dette har vist sig meget udfordrende og er ikke nået trods flere års forsøg.
 - I foråret 2018 lykkes det at få data fra SCADA, dog med udfordringer med stabilitet. Vi har siden arbejdet på at forbedre stabiliteten sammen med Visue som eksterne konsulenter (det er det fælles selskab, som har indkøbt PSI SCADA for 13 selskaber).
 - Der er opsat en automatisk data validation i set-up'et, som sikrer, at de data som der modtages hos DTU og arbejdes med i algoritmen er korrekte (fx at der ikke mangler data eller data er urealistisk høje eller lave). Denne datavalidering har nu kørt i 195 dage og det har vist sig, at kun 30% af modtagne data kan anvendes til at beregne nyt set-punkt for de tilsluttede vindparker. Dette er således fortsat ikke tilfredsstillende.
 - Vi har ikke forsøgt at eksportere data fra DTU til SCADA (set-punkter til vindparkerne), da stabiliteten ikke har været tilfredsstillende. Således har vi heller ikke eksporteret data videre til vindmøllen.
 - Vi har arbejdet med, hvordan data skulle eksporteres til vindparkerne. Vi har besluttet at starte i en vindmøllepark og få testet det fysiske set-up, hvor der anvendes fiberline og cloud fremfor hårdtfortrådet kommunikation (da fremtiden bliver fiberline og forventning om en bedre økonomi fremfor at investere i dyre RTU-løsninger). Det giver en del udfordringer, i forhold til teknisk set-up og også økonomi. Men dette blev løst med en pragmatisk løsning til testen.
 - Fra d. 27 april 2019 trådte de nye net-regler fra EU i kraft for tilslutning af blandt andet vindmøller over 1 MW. Et af kravene var realtidsovervågning af vindmøllerne, og i dette projekt blev det opfyldt med data fra SCADA (men ustabil).
- At optimere på netselskabets nettab og sikre overholdelse af krav til udveksling af reaktiv effekt med transmissionsnettet.
 - WP2 i projektet har arbejdet med det konkrete net-område, hvor der (nu) er installeret 4 store vindparker og der produceres langt mere energi end der kan aftages. (I løbet af projektet er en ny vindpark idriftssat).
 - Undervejs i projektet blev test-området ændret (BIL-transformer), idet EnergiNet.dk byggede en ny 150/60 kV transformer (RSL) for at kunne transportere VE-energi fra Thy, Mors og Salling til det øvrige Jylland. Dette har naturligvis påvirket det samlede net-tab i Salling i positiv retning, da energien nu transformeres på et højere spændingsniveau. Det oprindelige tab i det nye test-område RSL, der ikke har meget belastning, er i forvejen lav, selv uden avanceret optimering, og derfor er potentialet for tab reduktion også lavt.
 - Beregninger fra net-området viste, at nettabet kunne reduceres med 2,5%, hvilket svarer til 103 MWh/år. Dette er i den oprindelige topologi BIL-transformer, hvor det samlede nettab var 3.081 MWh pr. 6.721 timer

- DTU har arbejdet videre med algoritmen og forfinet beregningerne og i perioden fra 1. dec 2018-13. juni 2019 er nettabet yderligere reduceret til 6%, hvilket (med 100% data) svarer til 37 MWh pr 195 dage. Dette er beregnet i den nye RSL topologi, hvor alle 4 vindparker er tilsluttet.
 - Hvis dette tal kan ekstrapoleres til landsplan vil en reduktion af nettabet på 6% have en værdi af 45 mio kr. Dette set i lyset af et samlet effektiviseringskrav for distributionsvirksomhederne på 70 mio. kr. Hvilket jo er yderst interessant og betyder, at den opsamlede viden i projektet har skabt interesse for dette område.
 - Algoritmen er designet til at overholde MVar krav i snitfladen mod TSO'en, $\cos \phi$ er mellem 0,9-1.
- At udnytte det eksisterende net optimalt og sikre den grønne omstilling på en samfundsøkonomisk optimal måde ved at regulere fremfor at forstærke nettet.
 - Projektet har udforsket 2 forskellige data kommunikations set-up:
 - Hårdforrådet, hvor der etableres en RTU i Vindparken. Denne løsning er bekostelige (CapEx: 25-30 tkr pr. WPP), til gengæld med høj sikkerhed. For det udvalgte område svarer dette til 100-120 tkr
 - Fiberløsning, dedikeret IP-adresse. Denne løsning har også høj sikkerhed, men OpEx er høj ~ 4 tkr/år. For det udvalgte område svarer dette til 16 tkr/år
 - I begge løsninger medgår tid til at etablere set-up (kontrakter, hardware, software, opsætning mv.), løbende validering og vedligehold, samt daglig drift.
 - Værdien af nettabet 69 MWh/år ~ 34.500 kr/år
 - Det har været diskuteret i projektet, hvad værdien af denne systemtekniske ydelse er, da det forventes, at der ville skulle betales for ydelsen overfor WWP-ejerne. Dette gør yderligere Businesscasen svær.
 - Der har været en lang møderække med Vattenfall, som ejer den ene vindpark i test-området og de er interesserede i at levere en sådan ydelse.
- At teste og afprøve IT-sikkerhedsinfrastrukturen i forbindelse med datakommunikation i henhold til IEC 62351.
 - Dette er vi ikke kommet i gang med da testen ikke er gennemført
- At opbygge know-how i forbindelse med modellering af tilstanden i MV nettet
 - Dette er i høj grad opnået i projektperioden
 - Tabene er generelt lave i det udvalgte 60 kV netområde og selvom forfining af beregningerne har øget tabsreduktionen til 6% i den nye RSL-topologi bliver businesscasen ikke bæredygtig. Men pga projektet har vi identificeret at kontrol af vindparker kan bruges til andre system tekniske ydelser, specielt MVAR regulering mellem TSO og DSO. Selvom der ikke er en økonomisk værdi af denne MVAR kontrol lige nu, forventes det at komme i fremtiden og ses i vores nabolande. At kombinere nettabs optimering og MVAR regulering kan i fremtiden måske få forretningsmodellen til at flyve.
 - En anden vigtig "opdagelse" i projektet er en stigning i modsat retning af effekten (reverse power flow) i 10 kV nettet, og dette demonstrerer, at en betydelig mængde VE-energi bliver installeret i lavspændingsnettene. Desværre er der pt ingen mulighed for at overvåge og have kendskab til disse VE produktions anlæg i real tid, (da de fjernaflæste målinger er historiske data). Det kan dog være en mulighed at estimere dette flow i real tid ved at bruge fjernaflæste data, SCADA data fra 60 KV nettet, vejrmødel og installations data. Disse estimater kan være meget brugbare til at overvåge, kontrollere og planlægge nettet uden at udvide infrastrukturen. Der er således en stor værdi i at udnyttet de fjernaflæste data, som i vid udstrækning ikke er udnyttet lige nu. Dette opdaget aspekt i projektet har initieret en ny forskning idé, som vil bliver undersøgt i et nyt PhD projekt vejledt af DTU Vind Energi og Dasnk Energi og finansieret under H2020 Marie Curie ITN projekt WinGrid.
 - Der er desuden i projektet udarbejdet 2 Master Afhandlinger i samarbejde mellem DTU Wind Energy og Eniig:
 - "Multi-objective heuristic optimization for medium voltage distribution network using wind power capabilities" af Theofanis Sofianopoulos
 - "Optimization for medium voltage distribution network using wind power capabilities" af Panagiotis Menegatos
 - Disse to afhandlinger har bidraget til den forbedrede optimeringsmetode.

- At bidrage til at højne og kvalificere kvaliteten i de kommende tekniske forskrifter, der udarbejdes i Energinet.dk regi og som skal binde de politiske, tekniske og økonomiske interesser sammen.
 - Dansk Energi og Eniig (N1) bærer den opnåede viden videre ind i arbejdet med nye tekniske forskrifter.
- Resultaterne opnået under dette projekt er blevet offentliggjort både gennem:
 - Konference papers:
 - Optimal Control of Wind Turbines in Active Distribution Networks during Network Maintenance, Altin M., Das K., Hansen A.D., Thybo G.W., 16th International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power into Power Systems as well as on Transmission Networks for Offshore Wind Power Plants. 2017, Energynautics GmbH.
 - Facing the challenges of distribution systems operation with highwind power penetration, Das K., Martinez E. N., Altin M., Hansen A.D., Wad Thybo G., Rangård M., et al., PowerTech, 2017 IEEE Manchester. IEEE, pp. 1–6.
 - Præsentationer:
 - Optimal Control of Wind Turbines in Active Distribution Networks, Invited Talk, WindEnergy Science Conference, Lyngby, Denmark. 2017
 - Optimal reactive power control of distributed wind power plants for loss minimization in medium voltage network, Panel Discussion, IEEE PES General Meeting, Chicago, USA. 2017
 - System Service Provision through Optimal Control of Distributed Wind Turbines, InvitedTalk, IRPWind conference, Amsterdam, The Netherlands. 2017
 - Wind Turbine Support in Future Distribution System, Workshop on 'Reactive Power Management: Possible Support to TSO from DSO:s with wind power', Stockholm, 2017
 - Wind Power Support in Distribution System, IEA WIND Task 25, Design and operation of power systems with large amounts of wind power, Stockholm, 2018
 - Aspects of relevance for utility scale wind-solar hybrid power plants, Wind Energy Science Conference, Cork, Ireland, 2019
- Under bearbejdning er tre journal artikler:
 - Multi-objective distribution network optimization using wind power capabilities
 - Benchmark model for distribution network with large share of renewable generations
 - Minimizing network losses in a distribution network using wind turbine control

1.6 Utilization of project results

Dansk Energi og N1 tager projektets resultater med videre i deres arbejde med at optimere det danske el-net og Dansk Energi udbreder således resultaterne i deres medlemskreds. Desuden vil den opnåede viden indgå i både nationale og internationalt arbejde med at tilpasse tekniske og markedsforskrifter i det danske marked.

1.7 Project conclusion and perspective

Simuleringer på baggrund af målinger har vist at i perioden fra 1. dec 2018-13. juni 2019 er nettabet reduceret til 6%, hvilket (med 100% data) svarer til 37 MWh pr 195 dage. Hvis dette tal kan ekstrapoleres til landsplan vil en reduktion af nettabet på 6% have en værdi af 45 mio. kr. Dette set i lyset af et samlet effektiviseringskrav for distributionsvirksomhederne på 70 mio. kr. Hvilket jo er yderst interessant og betyder, at den opsamlede viden i projektet har skabt interesse for dette område.

Annex

[https://orbit.dtu.dk/en/publications/optimal-control-of-wind-turbines-in-active-distribution-networks-during-network-maintenance\(3cb46740-c0e1-4ed2-bfe8-6ddf284a6e45\).html](https://orbit.dtu.dk/en/publications/optimal-control-of-wind-turbines-in-active-distribution-networks-during-network-maintenance(3cb46740-c0e1-4ed2-bfe8-6ddf284a6e45).html)

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7981136>