

# Final report – Power Pack

## 1.1 Project details

<b>Project title</b>	Power Pack
<b>Project identification (program abbrev. and file)</b>	Standardized Power Packs for improved aerodynamics on wind power turbines (journal nr. 64012-0216)
<b>Name of the programme which has funded the project</b>	EUDP 12-II
<b>Project managing company/institution (name and address)</b>	Liftra ApS Stationsmestervej 81 DK-9200 Aalborg
<b>Project partners</b>	DTU Wind Energy Department Sander Tech A/S
<b>CVR</b> (central business register)	10110122
<b>Date for submission</b>	

## 1.2 Short description of project objective and results

English:

Power Pack is a development and demonstration project of a commercial platform of passive aerodynamic add-ons, based on a configurable combination of generic sized vortex generators. Enabled by a novel engineering software tool, the Power Pack concept is applicable for improved aerodynamic performance of new and existing pitch regulated wind turbines. The technological and commercial target of the project has been achieved by demonstrating and validating 2-4% power output improvement for a standard commercial turbine. The developed Power Pack tool is a near-automated calculation software that can design and analyze the effect a given configuration of turbine and blade type equipped with vortex generator upgrade solution in terms of power production and structural loads. Furthermore the project includes field trials where installation methods were assessed and qualified.

Danish:

Power Pack omhandler udvikling og demonstration af en kommerciel platform for passive aerodynamiske add-ons, baseret på en konfigurerbar kombination af generiske vortex generator størrelser. Baseret på et nyt softwareværktøj, er Power Pack konceptet anvendeligt til at forbedre den aerodynamiske ydelse af nye og eksisterende pitch regulerede vindmøller. De teknologiske og kommercielle mål for projektet er opnået gennem demonstration og validering af 2-4% produktionsforbedring for en standard kommerciel vindmølle. Det udviklede Power Pack værktøj er et semi-automatiseret beregningsskema, der kan anvendes til at designe og analysere effekten af en given vindmølle og vingetypekonfiguration udstyret med vortex generatorløsning med hensyn til strømproduktivitet og strukturelle belastninger. I projektet er der også gennemført testinstallationer til vurdering og kvalificering af de bedste egnede installationsmetoder.

## 1.3 Executive summary

Power Pack projektet er gennemført i perioden januar 2013 til juni 2016 indenfor den budgetterede ramme og med en tidsmæssig forlængelse på + 6 mdr. Projektets formål er opfyldt og kommercialisering varetages gennem firmaet Power Curve ApS som formidler projektets resultater til det globale marked for eftermonterede vindmølle opgraderinger, se evt. [www.powercurve.dk](http://www.powercurve.dk). Power Curve er etableret som et Joint Venture selskab mellem de private partnere i projektet, Liftra ApS og Sander Plast A/S og ejerkredsen er i projektperioden udvidet med 2 eksterne investorer. I forbindelse med etableringen af Power Curve overgik projektlederrollen fra Sander Plast til Liftra, hvor Niels Fiil Brønnum blev ansat og dermed bidrog med omfattende projektledelsesmæssig og vindmøllerelateret R&D erfaring.

I projektet er der i et tæt samarbejde mellem industri og videns institution (Risø) udviklet og demonstreret en ny beregningsplatform (Power Pack) der på unik vis gør det muligt at designe og forudsige effekten af Vortex Generator (VG) teknologien på vindmøllevinger. VG teknologien er ikke ny men det er den måde hvorpå Power Pack inkluderer VG teknologien til at reducere den produktionsforringelse forårsaget af slitage på vingeoverfalden, særligt på den yderste del af vingen. Med Power Pack beregningssoftwaren er Power Curve den eneste uafhængige leverandør af VG opgraderinger der tilbyder en løsning på det stadigt stigende og erkendte problem for vindmølleejerne, at deres møller ikke producerer den strøm deres finansielle modeller og projektforsættninger kræver på grund af tab af aerodynamisk effektivitet. Power Curves VG løsninger tilbyder en løsning på en ikke ubetydelig del af dette problem i form af genetableret strømproduktion i størrelsesordenen 2-5% afhængig af en række faktorer så som vindforhold, mølletype og graden af vingeslitage. Ved at anlægge et total-kost perspektiv er det lykkedes at designe et system med en tilbage typisk betalingstid på 1-2 år og med en markant positiv nutidsværdi af investeringen.

- I projektet er der foretaget en række materiale kvalifikationer baseret på laboratorietest og test i felten for at kunne specificere de rigtige valg, ligesom der er indgået global aftale med limleverandør da selektion, pris og forsendelsesproces kræver et særskilt fokus.
- Der er udviklet et generisk og skalerbart design af VG paneler herunder investeret i formværktøjer til fremstilling af 8 forskellige VG panelstørrelser.
- Projektet har udviklet, fremstillet og testet en wire ophængt vingeplatform til montage af VG paneler men i projektet er det erfaret gennem konkret testinstallationsarbejde, at vingeplatformen er berettiget ifbm andre og større arbejder på vingerne (ex. struktur reparationer og forkants beskyttelse) på grund af høje transport omkostninger, op- og nedtagningstider sammenlignet med reb installation og installation med udskyder-bom (aerial truck).
- På grund af den globale efterspørgsel af vindmølle opgraderinger er der i projektet udviklet og testet et VG installations koncept (metode og instruktion) samt kvalificeret og trænet leverandører af installations services på fjerne markeder. Da nede-tid for mølleejere er lig med omkostning er installationsprocessen designet mod optimal præcision og hurtig montage.
- Power Pack beregningsplatformen er valideret gennem omfattende test forløb på en V52 testmølle på Risø Campus. Testen er gennemført med henblik på at undersøge i hvilken grad Power Pack forudsigelser (beregninger) passer med virkeligheden. V52 møllen er instrumenteret med måleudstyr for at kunne verificere strøm produktions forbedringen samt den lastmæssige påvirkning VG installationen har. Testen demonstrerer en meget høj grad af overensstemmelse indenfor 1% nøjagtighed. Der er udarbejdet en separat afrapportering af testen.
- For at skalere salget af Power Curves produkter er der indgået agent aftaler på det Kinesiske og Japanske markeder samt distributør aftaler med installationsfirmaer i USA, Italien, Danmark og UK.
- Ved projektet afslutning har Power Curve succesfuldt gennemført demonstrationsprojekter i UK, IT, ES, DK, SE, JP, CN og US og der er klare forventninger om at indgå de første kommercielle ordre i Q1 2017 med en forventet omsætning i 2017 på +10 mill. kr og ansættelse af flere medarbejdere til at varetage projekt eksekvering, projektstyring og salgsarbejde.

I projektet er det gennem et markedsorienteret samarbejde mellem industri og forskningsverdenen lykkedes at udvikle og demonstrere en nyskabende teknologi til at løse et reelt og stigende problem i markedet. Der er med projektet skabt grundlaget for en levedygtig virksomhed, Power Curve, der ved projektet afslutning realiserer det første kommercielle salg på baggrund af omfattende demonstrationsprojekter med globale energiselskaber som kunder. Projektet har i meget høj grad leveret og formidlet platformen til den kommercielle succes der er målet for projektet.

#### **1.4 Project objectives**

I projektet er der foretaget en løbende prioritering af udviklingsindsatsen efterhånden som forsknings og udviklingsaktiviteterne blev gennemført. I forhold til det oprindelige tekniske omfang har det været nødvendigt at fokusere projektet på Vortex Generator teknologien som den bærende teknologi i forhold til power up-grades. Som et unikt og nyskabende element har fokuseringen på vortex generator teknologien åbnet mulighed for, at udvikle VG løsninger til den yderste del af vingen hvor vingerne som udgangspunkt ikke drager fordel af VG teknologien, men gør det når der er opstået ruhed på vingens overfalde. Ved at inddrage den yderste del af vingen adresserer projektet et problem der er en stigende erkendelse for i vind branchen, og via den forskningsmæssige indsats skaber en løsning til.

#### **DTU**

Specielt DTU's opgave med at etablere gode modeller for sammenhængen mellem effekten af overflade ruhed på den yderste del af en vindmøllevinge og hvordan VG teknologien kan kompensere for dette, har krævet mere tid end oprindeligt planlagt. Der er af den grund overført timer a to omgange fra Sander Plast og Liftra til DTU for at gennemføre det udvide- de udviklings- og demonstrationsarbejde.



DTU har i projektet;

- Udviklet omfattende Power Pack kode til beregning af effekten af VG teknologien på vindmøllevinger inklusiv den yderste del af vingerne
- Verificeret Power Pack ingeniørmodeller og forudsigelser med vindtunnelmålinger
- Automatiseret Power Pack rutiner og skabt brugervenlig brugerflade
- Dokumenteret Power Pack for optimal overdragelse og autonom kommerciel anvendelse i Power Curve
- Valideret Power pack som teknologi platform via V52 full size test i forhold til at kunne forudsige VG effekten på produktionsforbedring og lastmæssig påvirkning på vingerne

Der henvises til DTU Wind summary rapport for yderligere info.

#### **Sander Plast**

Sander Plast har gennemført en række materiale kvalificeringer for at kunne specificere et egnet materiale under hensyntagen til sprøjte støbe proces, vedhæftningskemi og miljøpåvirkning. Sander Plast har i samarbejde med DTU udviklet en VG formfaktor der er generisk så den kan skaleres vilkårligt. For at tilgodese en optimal installationsproces er der valgt et VG design hvor VG finnerne er integreret i en bundplade som udgør vedhæftningsfladen mod vingeoverfalden. Ved at have VG panelet som en plade kan montagen foretages langs montagelinjer hvilket er en stor fordel ifht at montere eksempelvis enkeltstyks VG'er. Sander Plast har udviklet en vedhæftning teknologi hvor der monteres en stribe dobbeltklæbende tape på VG panelet som giver den initiale vedhæftning samt påføring af en tokomponent lim der når den hærdet, sikre blivende vedhæftning. I forbindelse med demonstration af Power Pack løsning på møller USA har Sander Plast deltaget on-site som supervisor og på baggrund af den erfaring defineret Power Curves VG installations manual.

Sander Plast har i projektet;

- Udviklet et skalerbart VG design som er anvendt til fremstilling af forme hvor flere VG størrelser kan produceres på samme moder-form.
- I projektet er der fremstillet 4 moderforme med 8 VG matricer så Power Curve ved projektets afslutning kan tilbyde 8 VG størrelser: 2,5mm, 5mm, 7,5mm, 10mm, 12,5mm, 15mm, 20mm og 35mm VG størrelser
- Afsøgt og kvalificeret egnet VG materiale der tilgodeser pris, produktionsforhold, vejrbestandighed og mekaniske egenskaber
- Udviklet unikt lim koncept med et mix af tape og 2-komponent limteknologi samt testet og defineret lim applikationsmetoder
- Deltaget i VG installationsarbejde som input til udvikling af VG installations manual
- Udviklet modulerbart KIT-koncept med VG paneler, forbrugsstoffer og installations manual er pakket og klar til installation (IKEA – koncept), se billede herunder



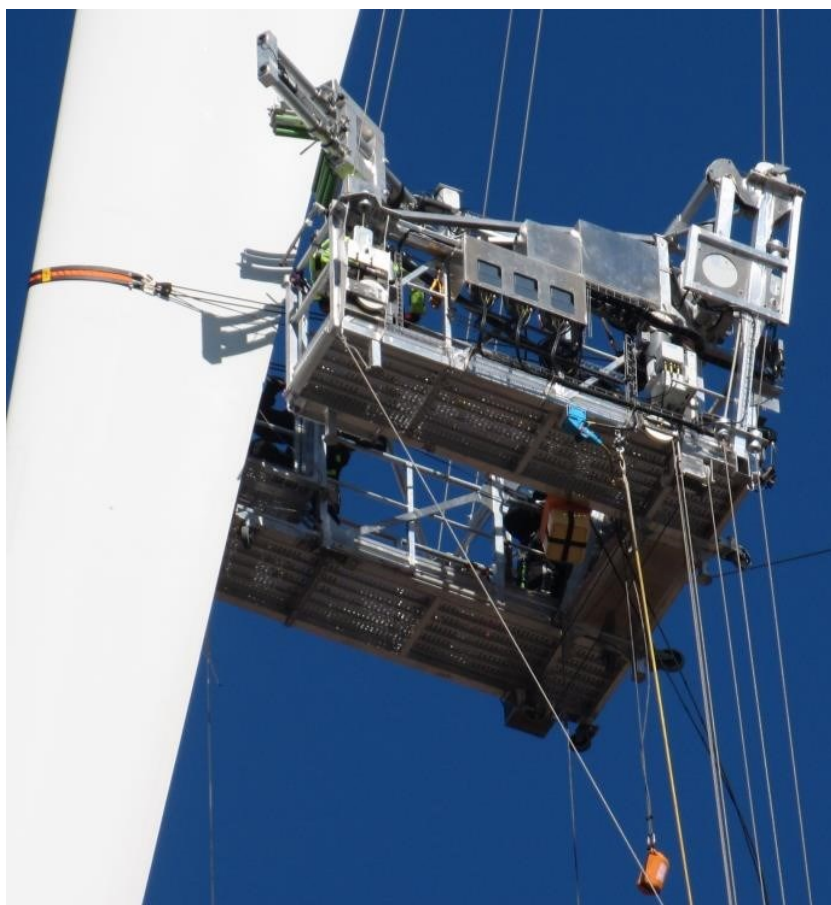
I projektperioden kom Sander Plast i økonomiske problemer og projekt tilknytningen overgik til det efterfølgende selskab Sander Tech uden betydning for de aktiviteter der var varetaget af Sander Plast. Senere i forløbet blev Sander Tech opkøbt af SP Molding men fortsatte sine aktiviteter, herunder Power Pack projektet under Sander Tech navnet / CVR nr.

Der henvises til særskilt Sander Plast summary rapport som på grund af detaljerede tekniske oplysninger og beskyttelse af Power Curves forretning er fortrolig.

#### **Liftra**

Liftra tilbyder løfte- og håndteringsteknologi til vindmølle eftermarked og har i projektet bla. bidraget med viden og salgskontakter til potentielle slutbrugere af Power Pack løsninger. Tidligt i projektet blev det besluttet at udvikle en vingeplatform til installation af Power Pack

add-on løsninger ud fra en forventning om, at add-on montagearbejdet med fordel kunne foregå i forbindelse med andet vingerelateret arbejde. Liftra har i projektet udviklet og fremstillet en vingeplatform inklusiv test og TÜF certificering til montage af add-ons på den yderste del af vingen med skitse oplæg til version 2 hvor platformen kan anvendes på den inderste del af vingen. Der henvises til særskilt Liftras summary rapport inklusiv vingeplatforms brugermanual som på grund af detaljerede tekniske oplysninger er fortrolig.



Vingeplatformen blev i forbindelse med godkendelse funktionstestet på en V90 mølle, se billede ovenfor.

Imidlertid blev det klart i forbindelse med gennemførelse af konkrete demonstrationsprojekter, at installationsmetoden med vingeplatform ikke er pris / tidsmæssig konkurrencedygtig i forhold til reb installation og i visse tilfælde 'boom-truck' installationsmetode. Med denne erkendelse og grundet det globale marked for Power Pack teknologien, har Liftra screenet, udvalgt og uddannet et installationsleverandør netværk på hovedmarkederne USA, Japan, UK, Kina og Spanien.

Liftra har i projektet:

- Udført løbende projektledelse for at sikre at projektets rammer kunne holdes. Styregruppen besluttede ca. halvvejs i projektet at inkludere den yderste del af vingen hvilket var en tidsmæssig risikabel men potentielt afgørende beslutning for projektets succes målt på kommercielt udbytte.
- Sikret en stærk sammenhæng mellem de gennemførte forsknings- og udviklingsaktiviteter med et markedsrettet sigte. Dette er varetaget gennem systematisk teknisk review og koordinering samt aktiv involvering af Advisory Board
- Gennemført omfattende formidling af teknologien og resultaterne gennem Power Curve hjemmeside, messedeltagelse, conferenceindlæg og aktivt salg af demonstrationsprojekter world wide
- Designet, fremstillet, testet og certificeret vingeplatform som efterfølgende er fundet begrænset egnet til installation af add-ons pga for høje omkostninger ifht alternative teknologier.

- Liftra har analyseret delprocesserne i add-on installationsarbejde, bla gennemført IRATA reb kursus for at definerer den mest optimale installationsstrategi og løsning. Liftra har i samarbejde med udenlandske installationspartnere udviklet en installationservice der er skalerbar, repeterbar og omkostningsmæssigt optimal ifht Power Curves konkurrencekraft.
- Gennemført prøve-installationsarbejder på skrottet V80 vinge for at kunne kvalificere og billedokumentere installationsproces, metode og værktøjer.
- Koordineret gennemførelse af demonstrationsprojekter i 8 forskellige lande på 6 forskellige vindmølletyper. Power Curve har deltaget i leverandør evaluering projekt hvor Power Pack produktet konkurrerede direkte med eksisterende konkurrenter i markedet. Power Pack løsningen har slået alle konkurrenter og Power Curve er af E.On valgt som foretrukken leverandør af VG up-grades.

På grund af Power Pack projektet blev der ansat en ingeniør ca. halvvejs i projektet for at udvikle et dataanalyse værktøj til at behandle de store mængder data demonstrationsprojekterne genererede. Power Curve har på baggrund af det arbejde en troværdig og effektiv valideringsplatform som leverer ensartede analyser af effekten af Power Pack løsninger i auto genereret rapport format. Ved projektets afslutning er der yderligere ansat en medarbejder til at styrke Power Curves markedsføringsaktiviteter, primært hjemmeside og brochure materiale.

For yderligere info om den udviklede vinge platform henvises der til særskilt Liftra summary rapport som på grund af detaljerede tekniske oplysninger og beskyttelse af Power Curves forretning er fortrolig.

## 1.5 Project results and dissemination of results

Dedikerede udgivelser og præsentationer i projektet:

- Skrzypinski WR, Gaunaa M, Bak C. The Effect of Mounting Vortex Generators on the DTU 10MW Reference Wind Turbine Blade. Journal of Physics: Conference Series (Online). 2014;524(1). 012034. Available from, DOI: 10.1088/1742-6596/524/1/012034
- Sørensen NN, Zahle F, Bak C, Vronsky T. Prediction of the Effect of Vortex Generators on Airfoil Performance. Journal of Physics: Conference Series (Online). 2014;524(1). 012019. Available from, DOI: 10.1088/1742-6596/524/1/012019
- Troldborg N, Zahle F, Sørensen NN. Simulation of a MW rotor equipped with vortex generators using CFD and an actuator shape model. In Proceedings of 53rd AIAA Aerospace Sciences Meeting. American Institute of Aeronautics & Astronautics. 2015.
- Bak C, Skrzypinski WR, Gaunaa M, Villanueva H, Brønnum NF, Kruse EK, "Measurements and predictions of the performance of the Vestas V52 wind turbine"
- Würz W, Vetter C, Langohr-Kolb M. Wind Tunnel Measurements of the NACA 633-418 Airfoil with Vortex Generators, Institut für Aerodynamik und Gasdynamik, Universität Stuttgart, Stuttgart, February 2015
- Skrzypinski WR, Gaunaa M, Bak C, Brønnum NF, Brink Kruse Olsen E. Increase in the Annual Energy Production due to a Retrofit of Vortex Generators on Blades. [Sound/Visual production (digital)]. 2015. American Wind Energy Association Windpower 2015, Baltimore, MD, United States, 29/09/2015
- Bak C, Skrzypinski WR, Gaunaa M, Villanueva H, Brønnum NF, Kruse EK, Full scale wind turbine test of vortex generators mounted on the entire blade, To appear at the conference "The Science of Making Torque from Wind 2016", Munich, Germany, 5 to 7 October 2016

## 1.6 Utilization of project results

Ved projektets start blev AAU kontakten med henblik på at få afgangsstuderende til at komme med deres bud på en go-to-marked strategi. Der blev lavet et godt oplæg og mange af

rapportens anvisninger er blevet fulgt, og Power Curve er som kommerciel formidler af projektets resultater aktiv på det globale vind marked. Sander Tech benytter den opnåede viden til at producere VG paneler til salg via Power Curve samt udvikler og vedligeholder VG produktionsforme og udstyr. I samarbejde med bla DTU Wind er der som en direkte konsekvens af Power Pack projektet søgt om endnu et EUDP projekt (LER) med en støtteramme på ca. 16 mill dkr. Interessen for Power Pack teknologien er stor og DTU Wind vil indenfor den samarbejdsaftale der er indgået benytte de erfaringer og indsiger i deres videre forsknings- og udviklingsarbejde.

Foruden de rent tekniske erkendelser i projektet, er den økonomiske model at sælge Power Pack up-grades til en pris der matcher mølle størrelse, lokale kWh afregningspriser samt lokalt vindklima, dvs prisen fastsættes i hvert kundeforhold. Da finansiering ifbm. større up-grade projekter kan være vanskelig for kunden, har no-pay, no-cure modellen været overvejet men forkastet på grund af de komplikationer der vil være med at forstå den reelle forbedring pr år samt hvad udgangspunktet / base line er.

Markeds strategien har fra starten været at sælge et antal demonstrationsprojekter for at opnå test resultater og derigennem validerer værdien af produktet. Det er lykkedes og med 'proven technology' er strategien gennem relevante konferencer, messer og salgsarbejde at øge kendskabsgraden på udvalgte markeder. Resultatet af den fulgte strategi er et Power Pack add-on koncept der er valideret og demonstreret på møller i Kina, Japan, USA, Italien, Sverige, Danmark, England og Spanien og med de første større kommercielle projekter (+100 up-grades) i 2017.

## **1.7 Project conclusion and perspective**

Projektet er gennemført indenfor den budgetterede ramme med en tidmæssig forlængelse på 6 måneder for at kunne afslutte validering af Power Pack beregningsplatformen. Valideringstesten viser 99% overensstemmelse mellem Power Packs forudsigelser af forøget strømproduktion og lastmæssige konsekvenser, et resultat projektet er meget stolt af og som understreger den forskningsmæssige indsats der er lagt i det gennemførte arbejde.

Det er lykkedes igennem projektperioden at gennemføre en række demonstrationsprojekter med kunder på udvalgte markeder og med resultater der har bragt Power Curve som det kommercielle spin-off på verdenskortet med en unik løsning der giver kunderne stor værdi. Power Curve har i 2016 omsat for ca 3 mill. dkr og forventer at omsætte for +10 mill. dkr i 2017 og ansætte yderligere 2-3 medarbejdere.

En af udfordringerne i projektet har været at bestemme graden og betydningen af den ruhed som den udviklede VG løsning skal kompensere for, hvor industripraksis pt. er at enkeltpersoner foretager subjektive vurderinger. Da graden af ruhed indgår som parameter i Power Pack programmet er det nødvendigt at have et normativt og kategoriserbart mål for ruhed. Hvordan det tilvejebringes findes der ikke noget svar på, og som en direkte konsekvens af Power Pack projektet har Power Curve i samarbejde med DTU, AAU og DFM formuleret, ansøgt og fået tildelt EUDP støtte til "LER – leading Edge Roughness wind turbines" projektet.

Projektet anser derfor projektets- og EUDP's formål om via forskning, udvikling og demonstration at skabe kommerciel aktivitet til gavn for vækst og beskæftigelse opfyldt i meget høj grad. Yderligere er projektet et godt eksempel på hvordan forskningsinstitutionernes arbejde kan operationaliseres ind i en kommerciel kontekst til gavn både for forskerinstitution og virksomhed.

### **Annex**

DTU Wind summary report

Sander Plast summary report // CONFIDENTIAL

Liftra summary report // CONFIDENTIAL

Power Curve brochures (4 pcs)