

# Final report

## 1.1 Project details

<b>Project title</b>	Renewable Flowstorage
<b>Project identification (program abbrev. and file)</b>	EUDP-2015-1; Journal nr. 64015-0023
<b>Name of the programme which has funded the project</b>	Renewable FlowStorage
<b>Project managing company/institution (name and address)</b>	Visblue ApS Bautavej 1 8210 Aarhus V
<b>Project partners</b>	Eniig Aarhus Universitet
<b>CVR</b> (central business register)	36427957
<b>Date for submission</b>	03-03-2015

## 1.2 Short description of project objective and results

Formålet med project Renewable Flowstorage har været at udvikle og lave feltforsøg med Vanadium Redox Flow-batteriteknologien (VRFB), m.h.p. at der på sigt udvikles et teknisk og kommercielt set bæredygtigt produkt, til lagring af strøm fra solcelleanlæg. Konkret at udvide den eksisterende praksiserfaring med VRFB-batterisystemets teknologiske og mekaniske udfordringer, og derved bidrage til de næste skridt i processen: Demonstration, produktion og afsætning/eksport af VRFB-lagringsteknologien.

Projektet har levet op til sit formål, jf. WP1-3:

- a) Der er dimensioneret, designet og testet et VRFB-laboratorieanlæg.
- b) En række løbende forsøg og tests af systemets ydeevne har kortlagt de videre tekniske udfordringer og der er tilvejebragt datamateriale til videre analyse, hvilket har medvirket til, at VRFB-produktet er modent til stor-skala demonstration og efterfølgende kommercialisering af produktet.

*The purpose of the Renewable Flowstorage project has been to develop and conduct field trials with Vanadium Redox Flow battery technology (VRFB), to support the developing of a technically and commercially sustainable product for storage of electricity from PV plants. Concretely the purpose has been to expand the existing practice experience with the technological and mechanical challenges of the VRFB battery system, thereby contributing to the next steps in the process: Demonstration, manufacturing and commercialization of this specific storage technology.*

*The project has lived up to its purpose, cf. WP1-3:*

- a) *We have designed and tested a VRFB laboratory system.*
- b) *A number of ongoing tests and analysis of the system performance have identified the further technical challenges and next steps; provided data material for further analysis, and thereby made the VRFB-product ready for largescale demonstration and subsequent commercialization of the VRFB-product.*

## 1.3 Executive summary

Med projekt Renewable FlowStorage har Visblue og Aarhus Universitet dimensioneret, designet og fremstillet en laboratorie prototype af et funktionsdygtigt VRFB-anlæg. Som en del af udviklingsprocessen er der i projektets WP2+3 opstillet en række specifikke tekniske og mekaniske delmål, herunder specificering af de tekniske krav til invertere, udvikling af simulationsværktøjer, afprøvning af forskellige flow-celler og dimensionering af disse. I hele processen er der indsamlet data til løbende analyse og derved identificeret en række fokus- og udviklingspunkter til brug ved den løbende forbedring og optimering af VRFB-systemet.

Projektforløbet har levet op til formålet og forventningerne, der er designet og udviklet et laboratorie test VRFB-anlæg, og de opstillede delmål i forhold til at teste, afprøve og udfordre teknologien/mekanikken, er opfyldt.

Projektet har været en succes i og med, at vi løbende har indkredset og identificeret de udfordringer som skal løses i forbindelse med igangværende udvikling næste generation af VRBF-systemet, der som næste skridt i kommerialiseringstrategien skal testes i et stor-skala demonstrationsprojekt.

Konkret har projektets teknologiske (og dermed kommercielle) succes omhandlet kravspecifikationer til kvaliteten af de flowceller, pakninger og membraner, der i VRFB-systemet arbejder sammen med vanadium-elektrolytten. Derudover har projektforløbet sat fokus på behovet for at integrere DC/DC konvertere i VRFB-systemet, således at samspillet mellem PV-anlæg, lagringsenheden og distributionsnettet fungerer optimalt, jf. risikoen for spændingsfluktuationer, m.v.

## 1.4 Project objectives

Jvf. Bevillingen til wp 1-3, har projektet fokuseret på dimensionering, design og test af et VRFB-laboratorieanlæg.

Det overordnede mål med projektet er at skabe kommerciel basis for et el-lagringsprodukt der kan bidrage til de energipolitiske målsætninger omkring nedbringelse af CO<sub>2</sub>-udledning og øge brugen og en mere effektiv udnyttelse af vedvarende energikilder. Konkret ved at udvikle et rentabelt Redox Flow-batteri som kan optimere udnyttelsen af energi fra solceller (og vindenergi).

Det teknisk-specifikke mål har været at løse en række praktiske udfordringer omkring tilpasning af teknologi og mekanik, således at VRBF-anlægget tilpasses og justeres - og dermed fungerer så stabilt at det kan kommerialiseres gennem produktion og afsætning på såvel hjemmemarkedet som i eksportsammenhæng.

I processen har vi arbejdet med følgende fokus/delmål:

- Dataindsamling og kravspecifikation til batterisystemet
- Kravspecifikation til invertere
- Udvikling af simulationsværktøjer
- Beregning af dimensioneringskrav til flowceller og efterfølgende indkøb af disse
- Færdiggørelse af hhv. første og anden laboratorie-prototype af VRBF-systemet
- Test af invertere på prototypen
- Verifikation af kontrolalgoritmer

I løbet af projektperioden stod det klart, at arbejdet med at tilvejebringelse af funktionelle batteri-”stakke”/flow-celler, der kvalitetsmæssigt kunne leve op til de krav og specifikationer VRFB-teknologien stiller, blev projektets centrale (del)mål og udfordring. Således også, at den centrale risiko forbundet med projektet var, at de tilvejebragte stakke lækkede elektrolytvæske, og at VRFB-anlægget således krævede stakke af en så høj kvalitet, at vi risikerede at prisen for det rette produkt blev for høj, hvilket udfordrer den kalkulerede business-case i VRFB-teknologien.

På trods af ovenstående udfordring - som ikke mindst skyldtes, at de tysk producerede flow-celler vi oprindeligt kalkulerede med, ikke var af den forventede kvalitet - udviklede projektet sig som vi forventede. Ved projektperiodens udløb alle mål og delmål er opfyldt, og det er såvel Visblue´s som Aarhus Universitets vurdering, at VRFB-produktet ved projektets udløb

er klar til næste skridt i kommercialiseringsplanen: Afprøvning af VRBF-teknologien i et stor-skala projekt.

## 1.5 Project results and dissemination of results

I projektet har vi jf. 1.4 gennemtestet den opstillede laboratoriemodel og identificeret enhver teknisk og mekanisk udfordring, jf. de opstillede delmål. Dels for at sikre anlæg af en høj, tilfredsstillende kvalitet, dels for at vurdere, om det i fremtiden vil være rentabelt at producere, afsætte og - for kundernes vedkommende - installere et VRFB-anlæg.

Som ligeledes nævnt i 1.4, lækkede de oprindeligt valgte flowcelle-stakke den anvendte vanadium-elektrolyt væske. Problemet's løsning bestod i at afprøve flere produkter og til sidst skifte leverandør. I 2016 indgik vi samarbejde med den kinesiske producent, GEC, der fremstiller et flow-celle produkt, hvor både pris og kvalitet er forbedret i forhold til det oprindelige tyske produkt. Situationen med lækager i vores flowcelle-stakke er, om end stærkt forbedret, endnu ikke fuldstændig løst. Denne del af udviklingsarbejdet har p.t. Visblues højeste tekniske prioritet, og vi er i den forbindelse i tæt og frugtbar dialog med vores kinesiske leverandør og Aarhus Universitet omkring den videre kvalitetssikring og udvikling af flowcelle-teknologien.

Hvad angår test af VRBF-anlæggets øvrige dele, har vi arbejdet med justeringer af bl.a. pakninger og membraner, og opnået tilfredsstillende løsninger som bidrager til at kvalitetssikre systemet, både hvad driftssikkerhed og levealder angår. Det installerede laboratorieanlæg er i alt blevet testet i 500 såkaldte "cyklus" (genopladninger), og vores oprindelige antagelse om, at et VRFB-anlæg vil kunne opnå en samlet levetid på ca. 28 år, er ikke blevet afkræftet.

Projektet har bidraget til at markedsmodne VRFB-systemet, og har dermed understøttet Visblue's business-case. Med de testresultater og efterfølgende kvalitetsforbedringer vi har opnået, mener vi fortsat at der på sigt er et betydeligt markedspotentiale for VRFB-anlæg af denne karakter. Med projektet er vores forventede return-of-investment (RoI) reduceret fra 15 til 10 år. Det er fortsat målet i vores forretningsmodel, at RoI skal helt ned på 7 år.

Projektets succes kan ses ved, at vi med det opstillede laboratorieanlæg har haft mulighed for at eksponere og fremvise teknologien overfor en række interessenter og potentielle kunder på markedet for vedvarende energi. Eksempelvis fonden Real Dania By & Byg, som efterfølgende bestilte en projekt- og demonstrationsmodel af VRFB-anlægget til det profilerede Zero-Energy byggeri i Søborg, Bolig+. Dette anlæg er på linje med laboratoriemodellen i projekt Renewable Flowstorage, et testanlæg, men installationen er en direkte udløber af herværende projekt, og var ikke blevet realiseret, hvis vi ikke kunne fremvise det gennem projektet etablerede testanlæg på Aarhus Universitet.

Projektet har isoleret set resulteret i tre nye ansættelser: to i Visblue og en på Aarhus Universitet. På sigt forventes projektet at medføre en række øvrige, afledte ansættelser, idet vi med det opstillede testanlæg har fået mulighed for at fremvise teknologien og dermed komme i dialog med en række potentielle, fremtidige kunder, både i Danmark og på eksportmarkederne.

Projektets resultater er blevet publiceret via Aarhus Universitet, og indirekte gennem landsdækkende omtale af det afledte, førømtalte projekt Bolig+ i TV og i de skrevne medier. Der var i den oprindelige projektansøgning afsat midler til bredere publicering, men denne budgetpost var ikke indeholdt i den endelige bevilling.

## 1.6 Utilization of project results

Projektets resultater har betydet, at Visblue, udover kontakt og dialog med ovennævnte Real Dania By & Byg, er kommet i kontakt med en række øvrige, potentielle kunder og samar-

bejdspartnere. Der er meget stor interesse for VRFB-produktet i energibranchen, og vi er løbende i dialog med mulige samarbejdspartnere, med henblik på at iværksætte flere udviklings- og demonstrationsprojekter. Vi har fokus på direkte afsætning af VRFB-anlæg til kunder med igangværende eller projekterede PV-anlæg, men er ligeledes bevidste om, at systemet på nuværende tidspunkt især egner sig til at indgå i samarbejder/konsortier, med fokus på puljefinansierede storskala udviklings- og demonstrationsprojekter.

Ved projektets slutning er Visblue bl.a. i dialog med en række boligforeninger, som i forbindelse med eksisterende PV-anlæg og fremtidige nyopførelser, er interesserede i at installere et eller flere VRFB-anlæg.

Blandt konkrete, afledte projekter af Renewable Flowstorage, kan nævnes Visblues deltagelse i det ligeledes EUDP-støttede projekt Grid Connected Flow Batteries, som Eniig er projekt-ejer på, og hvor Aarhus Universitet ligeledes indgår som samarbejdspartner. Derudover er Visblue i samarbejde med DTU blevet partner/deltager i et transnationalt udviklingsprojekt "ORBATS" (Innovationsfonden), hvor også vindmøllefabrikanten VESTAS og Harvard Universitet indgår.

Der er ikke udtaget patenter i.f.m. projektet, men Aarhus Universitet har som et afledt resultat af sin deltagelse i Renewable Flowstorage, hjemtaget en Horizon2020-bevilling i samarbejde med bl.a. Università Degli Studi di Roma (I) og Engineering Ingegneria Informatica (Sp). I forbindelse med opstart af dette afledte projekt, har Aarhus Universitet etableret endnu et VRFB-testanlæg.

Projektet har siden starten i 2015 genereret erfaringer som naturligt har medvirket til at revidere Visblue's oprindelige forretningsplan. Med den eksisterende pris- og omkostningsstruktur i markedet, er vi blevet bevidst om, at det tidsnære marked efterspørger større VRFB-anlæg end der lå til grund for den oprindelige forretningsplan. Eksempelvis anlæg der matcher PV-anlæg af den størrelsesorden som boligforeninger og mellemstore virksomheder/landbrug har installeret. På sigt er det stadig Visblues hensigt også at producere og sælge downsizede VRFB-anlæg til den private villa-solcelleproducent, men et kommercielt gennembrud i dette segment af markedet, er betinget af yderligere reduktion i de samlede produktionsomkostninger.

**VRFB-produktets markedspotentiale** er fortsat meget stort, jf. EU's målsætninger på energiområdet, herunder den forventede stigning i solcelleenergiens samlede andel af den producerede strøm i såvel EU som i verden omkring os. Dette medfører naturligt en stor og stigende konkurrence mellem de introducerede lagringsteknologier. Således også på markedet for VRFB-anlæg, hvor der må forventes stigende konkurrence jo længere vi når frem i tiden. Ikke mindst dette forhold understreger vigtigheden af, at Visblue som dansk udvikler og producent, i samarbejde med områdets førende forskningsinstitutioner (Aarhus Universitet m.fl.), er blandt markedets såkaldte first-movers.

**Projektets bidrag til de overordnede energimålsætninger** består i, at vi med etablering af et laboratoriebaseret VRFB-testanlæg, har bidraget til at udvikle og finjustere et el-lagringssystem, som på sigt vil øge fleksibiliteten og muligheden for optimeret udnyttelse af vedvarende energikilder. VRFB-anlægget er potentielt set meget konkurrencedygtigt, dels fordi det byder på en høj grad af fleksibilitet, dels fordi det har en lang levetid - og som følge deraf, markedets laveste omkostninger pr. ladet energienhed.

Med projektet er vi efter Visblue's opfattelse kommet vigtige skridt nærmere den situation, hvor vedvarende energikilder gradvist afløser fossile brændstoffer som vigtigste energikilde.

## 1.7 Project conclusion and perspective

Den overordnede konklusion er, at projektet har vist VRFB-systemets potentiale som et realistisk bud på en fremtidig energilagings-løsning, såvel konkurrence- og funktionsmæssigt.

Projektet har vist, at Vanadium Redox Flow-batterier er bæredygtige, såvel teknologisk som prismæssigt, og de mange testresultater som projektet har kastet af sig, underbygger VRFB-teknologiens potentiale på fremtidens marked for vedvarende energi.

De erfaringer og resultater vi har opnået med projektet, har været konstruktive og vigtige input til den videre produktudvikling og til Visblue's forretningsplan. Vi har i projektet indkredset de teknologiske og mekaniske udfordringer som VRFB-produktet skal imødegå før det er fuldt markedsmodent. Det værende i forhold til kvaliteten af systemets delelementer (stacks, pakninger m.v.), men også i VRFB-systemets fremtidige samspil med el-nettet og de centrale udbydere.

**Konkrete teknologiske konklusioner og perspektiveringer** omhandler udvikling af kvalitetssikrede flowcelle-stacks og integrering af DC/DC-konvertere som sikrer, at solcelle- og batterikombinationen vil kunne bidrage til øget net-stabilisering i et el-marked med langt flere decentrale producenter og lokale spidsbelastninger end elnettet oprindeligt blev projekteret til. Konverteren skal udstyres med integrerede interface-løsninger, der sikrer, at fremtidig lokal el-lagring kan fungere og interagere indenfor de fremtidige reguleringer og rammer som måtte komme til at gælde på området.

**Det forretningsmæssige perspektiv/resultat af projektet** omhandler i kombination af ovenstående, muligheden for fremvisning og demonstration af testanlægget til potentielle kunder og samarbejdspartnere. Denne mulighed har afstedkommet mange nye potentielle forretningskontakter og samarbejdsrelationer for Visblue, hvilket understreger, at projekt Renewable Flowstorages har haft afgørende betydning for, at vi som mindre spin-off virksomhed har fået mulighed for at komme tættere på en markedsmodning og afsætning af et nu forbedret produkt.

**"Next Step" i kommerialiseringen af VRFB-systemet** består ideelt set af et storskala-demonstrationsprojekt, hvor vi i samarbejde med forskellige typer af decentrale el-producenter (klynger af private husholdninger, boligforeninger, husdyrproducenter, fremstillingsvirksomheder og et eller flere forsyningselskaber), gives mulighed for at afprøve og demonstrere 10-15 VRFB-anlæg – ideelt set i Danmark, alternativt i samarbejde med udenlandske interessenter og samarbejdspartnere. Et storskala-projekt vil forstærke den igangværende procesoptimering af VRFB-systemet og give mulighed for at skalere teknologien med fokus på en bred gruppe af aftagere – såvel lokale el-producenter som de store aktører på forsyningsområdet. Endelig er det væsentligt, at den omtale og interesse som et storskala projekt vil afstedkomme, vil forstærke det momentum for et forædlet og tilpasset VRFB-system, som Visblue's langsigtede kommerialiseringssplan forudsætter.

**Annex:** Deliverables og milestones er skriftligt dokumenteret og kan rekvireres af EUDP.