



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

RecyBlade

Bæredygtig genanvendelse af møllevinger
til konstruktions- og byggekomponenter

Miljøprojekt nr. 1551, 2014



Titel:

RecyBlade

Redaktion:

Paul-Erik Andersen

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

År:

Udarbejdet 2012
Publiceret 2014

ISBN nr.

978-87-93178-17-5

Ansvarsfraskrivelse:

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	4
Konklusion og sammenfatning	5
Konklusion	6
1. Indledning	7
2. Levering af rotorblade	9
3. Tekniske specifikationer - Vestas V44-600kW model	13
4. Indledende analyse af applikationer	14
4.1 Parametre til bedømmelse af idéerne til genbrug	14
4.2 Idéer til forskellige applikationer hvor vingerne genbruges	14
4.3 Indledende diskussion af ideerne	17
4.4 Vurdering af de videreførte idéer	18
5. Støjskærme	23
5.1 Løsning 1	23
5.1.1 Beskrivelse.....	23
5.2 Økonomisk analyse	23
5.2.1 Miljøanalyse	25
5.3 Løsning 2	26
5.3.1 Beskrivelse.....	26
5.3.2 Økonomisk analyse	27
5.3.3 Miljøanalyse	28
6. Højspændingsmaster	30
6.1 Beskrivelse.....	30
6.2 Økonomisk analyse.....	30
6.3 Miljøanalyse	32
6.3.1 Begrænsninger	32
6.3.2 Fordele.....	32
7. Aquakultur	33
7.1 Beskrivelse.....	33
7.2 Økonomisk analyse.....	34
7.3 Miljøanalyse	35
7.3.1 Begrænsninger	35
7.3.2 Fordele.....	36
8. Udendørs strukturer	37
8.1 Beskrivelse.....	37
8.2 Økonomisk analyse.....	37
8.3 Miljøanalyse	38
8.3.1 Begrænsninger	39
8.3.2 Fordele.....	39
Referencer	40

Forord

Dette dokument er en sammenfatning af fase I og II i RecyBlade projektet. RecyBlade-projektet er lavet med henblik på undersøgelse, evaluering og dokumentation af økonomiske, miljømæssige og socialt foretrukne alternativer til bortskaffelse af udtjente møllevinger.

Denne rapport dækker resultaterne, den analytiske proces med screening og vurdering af mulige genanvendelser, som har til formål at forhindre de økonomiske og miljømæssige belastninger, vingerne udgør i den nuværende situation. Derfor omfatter fase I en gennemgang af udvalgte vingekonstruktioner og foreslåede anvendelsesområder. Det er en samlet vurdering i forhold til mekanik, kemi, konvertering fra vingeanvendelse, installation, levetid, samt en generel vurdering af, hvad der er muligt fra en ingeniørmæssig synsvinkel. Derudover foretages en analyse af data fra energistyrelsens register for vindmøller for at afgøre hvilken type mølle, der har det største potentiale med hensyn til tilgængelighed i fremtiden. Dette sker for at sikre, at de foreslåede anvendelser ikke hæmmes af manglen på tilgængelige vinger. For at eliminere unødvendige komplikationer har rapporten derefter fokuseret på udvælgelse af en enkelt type med det største potentiale. Det vil alligevel bane vejen for mulige anvendelser af andre vingetyper til nogle af de samme applikationer uden at foretage de store forandringer, idet de i mange henseender er opbygget ens.

Dette dokument beskriver også fremskridtene for hele fase II, som forsøger at uddybe denne vurdering på, hvad der menes at være de mest lovende og mulige alternativer.

Fire forskellige løsninger til genbrug af vinger præsenteres og vurderes fra forskellige vinkler, herunder: støjbarrierer i forbindelse med vejanlæg, højspændingsmaster, indhegninger til aquakultur, samt udendørsinventar til landbrugsformål.

Rapporten er udarbejdet med Dansk Teknologisk Institut som ekstern konsulent.

Konklusion og sammenfatning

Der er mange usikkerhedsmomenter på alle niveauer primært på grund af:

- En mangel på præcise mekaniske data om vingerne.
- Manglende viden om vingernes eksakte geometri.
- Mangel på viden om markedskræfterne og efterspørgsel.

Det påvirker pålideligheden af slutresultaterne. Alligevel vurderes de til at være valide nok til at blive benyttet som indikatorer for fremtidige beslutninger.

Alle genbrugsalternativer synes at vise økonomisk og miljømæssig rentabilitet. Der er imidlertid stadig betydelige indledende finansielle investeringer, sociale barrierer og juridiske begrænsninger, som kræver yderligere undersøgelser.

Derudover forhindrer manglen på præcise data os i at videreudvikle disse ideer, da det umuliggør alle konkrete beregninger af resterende styrke, lastgrænser og restlevetidsvurdering.

Hvis de nødvendige, fyldestgørende data havde været tilgængelige, og støtten var til stede fra vingeproducenterne, ville de næste skridt i fase 3, 4 & 5 være:

- At vurdere den forventede holdbarhed af strukturerne,
- Yderligere undersøgelse af materiale og energikrav til deres virkeliggørelse,
- Søgning efter partnere til en potentiel prototypeproduktion,
- Evaluering af efterspørgslen på markedet og interesserede aktører.

Konklusion

Many uncertainties remain at all levels, mainly because of:

- A lack of precise mechanical data on the blades.
- A lack of exact geometry of the blades.
- And lack of knowledge about the market forces and demand.

It impacts the reliability aspect of the end-results. Still, the validity aspect is believed to be high and allow us to consider these results as rough indicators for future decision-making.

All 4 reuse alternatives selected seem to show economic and environmental profitability. However, important upfront financial investments, social barriers and other legal limitations shape order preferences for further investigations.

Additionally, the lack of precise data prevents us from further developing these ideas, as it renders all concrete calculation of residual strength, load bearing limits and lifetime approximation impossible.

If necessary and proper data would have been accessible, and if a support from blade manufacturers were present, the next research steps with Phase 3, 4 & 5 would be:

- Assessing the expected durability of the structures,
- Further investigating material and energy requirements for their realization,
- Prospecting for partners for a potential prototype production,
- Evaluation the market demand and interested actors.

1. Indledning

1.1 Formålet med rapporten

Den nuværende videnskabelige litteratur tyder på et sikret og voksende udbud af udtjente kompositkonstruktioner med et betydelig økonomisk, men også miljømæssigt potentiale. Hvis det var muligt at implementere genanvendelser for vindmøllevinger som alternativ til neddeling, ville man spare en mængde energi på industrielle processer, som i dag resulterer i et granulat, der kun kan benyttes som fyld. En udnyttelse af vingerne i større stykker vil resultere i en meget mere effektiv udnyttelse af vingeres potentiale og de tilbageværende egenskaber, de besidder.

Denne udnyttelse kan kun nås gennem en analyse, som vurderer levedygtigheden af applikationerne i form af økonomiske, miljømæssige og social rentabilitet. Dermed menes, at indikatorer til at hjælpe i beslutningsprocessen kun kan opnås ved at besvare de rigtige spørgsmål under hele udviklingen af denne rapport.

1.2 Opbygning af rapporten

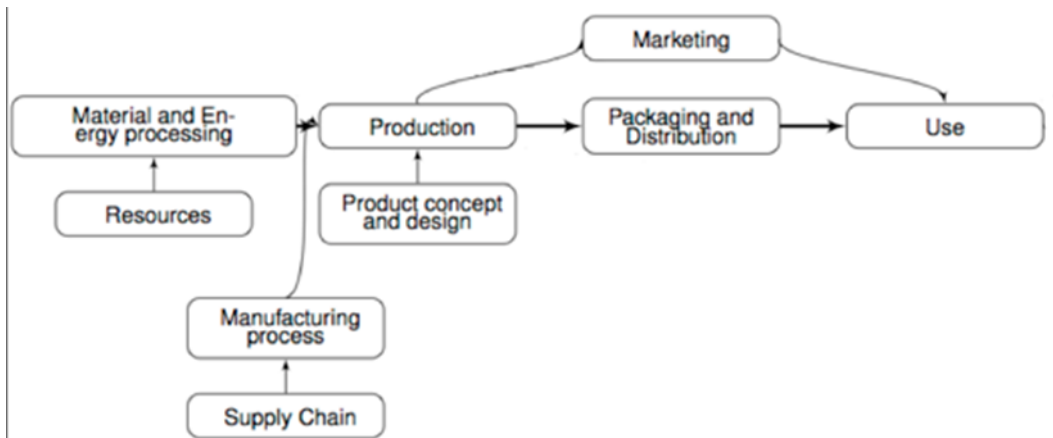
Den første del af rapporten undersøger de forventede råvarestrømme med hensyn til mængde og type af vinger i de kommende år for at sikre en solid støtte til yderligere økonomiske og miljømæssige analyser.

Anden del er en screening af mulige anvendelser analyseret ud fra en række parametre for at gøre det muligt at overveje og prioritere applikationerne i forhold til deres afsætningspotentiale, udnyttelsesgrad, miljø og økonomiske forhold.

I tredje del bliver de valgte designs, deres tekniske gennemførlighed og konsekvenser beskrevet og vurderet. Ud over den tekniske beskrivelse er resultaterne i form af økonomisk og miljømæssig bæredygtighed estimeret i en Cradle-to-use analyse - se Figur 1.

Den økonomiske analyse omfatter nedtagning, behandling, distribution og vedligeholdelsesomkostninger samt forventet potentiale i de kommende år med en 1,5 % markedsandelsinflation. Usikkerheden omkring modellens parametre er ikke-ubetydelig: en Monte Carlo-analyse anvendes til at behandle dem. Alligevel er den anvendte økonomiske model ikke garanteret at være den mest hensigtsmæssige. Derudover vil der i fremtiden være brug for en analyse af markeds kræfterne.

Den miljømæssige analyse, der er baseret på en livscyklusvurdering, forsøger at kvantificere det samlede primære energibehov samt udledningen af CO₂-ækvivalente gasser - baseret på 2007 IPCC GWP100a karakteriseringsmodel - samt fordele i form af sparet energi og deraf følgende begrænsning af drivhusgasser.



FIGUR 1
KONVENTIONEL REPRÆSENTATION AF CRADLE-TO-USE ANALYSE.

En 1-til-5 skala bruges til at hjælpe med vurdering af de forskellige applikationers præstationer og til at give klare indikationer til brug i beslutningstagningsprocessen. Tabel 1 viser det skaleringsystem, der anvendes i denne rapport.

Sidste del viser de retninger, der vil blive brugt, som ramme for at færdiggøre fase III af projektet.

Grade	5	4	3	2	1
Economic performances ¹	ROI ≥ 400%	400% > ROI ≥ 300%	300% > ROI ≥ 200%	200% > ROI ≥ 100%	ROI < 100%
Environmental performances ²	ROI ≥ 400%	400% > ROI ≥ 300%	300% > ROI ≥ 200%	200% > ROI ≥ 100%	ROI < 100%

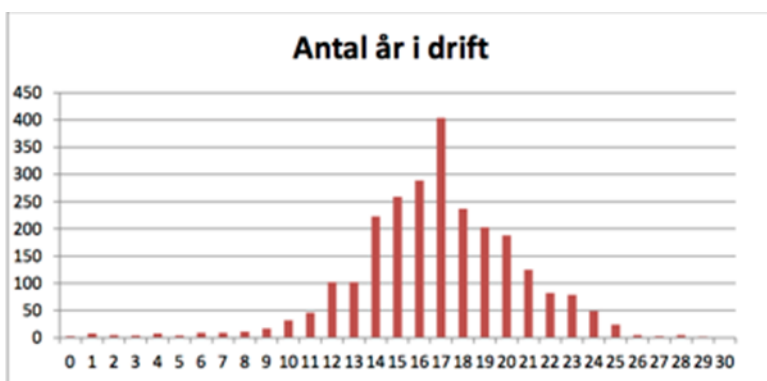
¹Return-on-investment here understood as $ROI = \frac{Gain - Total\ costs}{Total\ costs}$

²Return-on-investment here understood as $ROI = \frac{Avoided\ marginal\ energy\ and\ material\ consumption - Energy\ and\ material\ needs}{Energy\ and\ material\ needs}$

TABEL 1
SKALERINGSSYSTEM TIL VURDERING AF DE ØKONOMISKE OG MILJØMÆSSIGE PRÆSTATIONER AF DE FORESLÅEDE DESIGNS

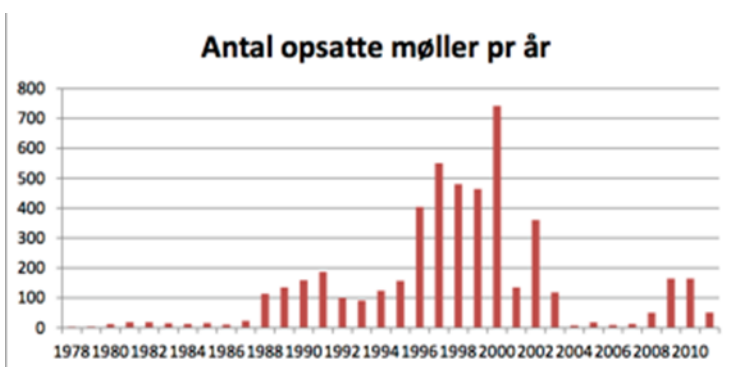
2. Levering af rotorblade

Dataene fra Energistyrelsens stamdataregister for vindmøller omhandler alle registrerede møller, som er sat op i Danmark. Det har været interessant at kigge på den faktiske levetid for nedtagne møller for at kunne bestemme hvornår de møller, der skal nedtages i de kommende år, er blevet installeret. 2538 møller er blevet nedtaget siden 1977. Af disse har 84 % haft en levetid på 14 -24 år, mens 71 % har haft en levetid på 14 - 20 år.



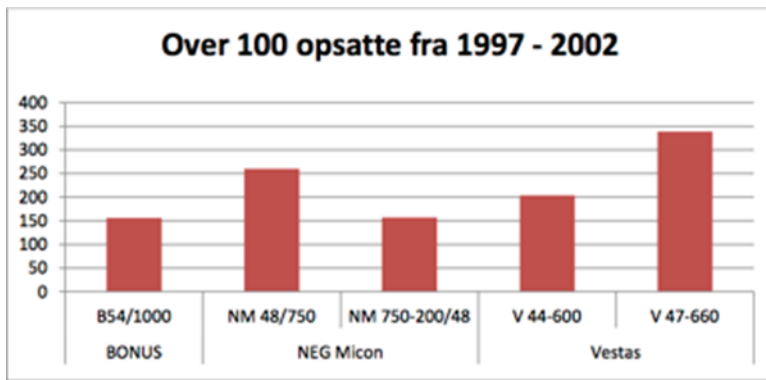
FIGUR 2
ANTAL ÅR I DRIFT. KILDE: MST – RAPPORTERING TIL FASE 1

Hvis man sammenholder dataene fra Figur 2 med årstallene for installation af de eksisterende møller, viser det sig, at der de kommende år vil være en stor andel af de eksisterende møller, der bliver modne for nedtagning. I årene 1997 - 2002 blev 2732 af de 4932 af de eksisterende møller installeret svarende til 55 %.



FIGUR 3
ANTAL OPSATTE MØLLER PER ÅR

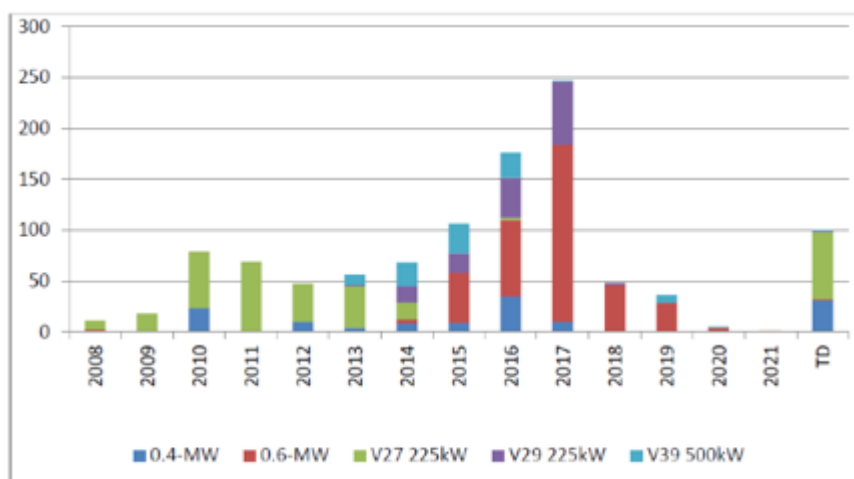
Når dataene på møllerne fra 1997 - 2002 kategoriseres, viser det sig, at der er 5 mølletyper, hvoraf der er opsat mere end 100 eksemplarer, hvilket kan ses i Figur 4.



FIGUR 4
OVER 100 OPSATTE FRA 1997 TIL 2002

En væsentlig del af de møller som blev installeret i perioden 1997-2002 blev produceret af Vestas. På grund af de igangværende projekter, hvor Vestas og Barsmark begge er involverede, er deres vinger blevet valgt som grundlag for undersøgelse.

Figur 5 viser de Vestas vindmøllemodeller, der nåede 20 års brug.



FIGUR 5
INSTALLEREDE VINDMØLLER MØLLER I DANMARK SOM HAR VÆRET I BRUG I 20 ÅR. KILDE: MST - RAPPORTERING TIL FASE 1

På Figur 5 er der tre modeller, som ventes at blive nedtaget i de kommende år:

- Vestas V44, 600kW udgangseffekt
- Vestas V27, 200/225kW udgangseffekt
- Vestas V29, 225kW udgangseffekt

Af Figur 5 - Installerede vindmøller møller i Danmark som har været i brug i 20 år. Kilde: MST - Rapportering til Fase 1 er det muligt at estimere mængden af møller til rådighed, som skal nedtages i perioden 2011-2022 for de tre pågældende modeller, under forudsætning af et konservativt levetidsestimat på 20 år. Disse estimater er vist i Tabel 2.

Blade model	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Vestas V27	30	45	165	210	120	135	51								
Vestas V29							45	45	135	180					
Vestas V44										100	100	100	100	100	100

TABEL 2

ESTIMAT AF VINDMØLLER SOM SKAL NEDTAGES I DANMARK, MELLEM 2011 OG 2022.

For at forenkle beregningerne og design foreslås det at samle de Vestas V27 og V29-modeller, da de tekniske specifikationer kun er marginalt forskellige med hensyn til vingelængde (14 meter mod 13 meter), vægt (V29 knive er 50 kg tungere), og udgangseffekt (visse V27 modeller giver 200kW mod)

225kW).

En konsekvent strøm af mindre møller er observeret indtil 2017, hvor udtjente V44 model vinger, forventes at dukke op. Det foreslås, at fremtidige designs koncentrerer sig om små og mellemstore vinger på grundlag af en Vestas V44 vingemodel.

De danske producenter af vinger er yderst lykkede med at videregive data på de vinger de producerer både i forhold til geometri og materialer. De vingetyper, som er interessante for projektet, blev primært produceret i 1990'erne, men bliver det ifølge én af producenterne stadig på licitation. Andre producenter anser alle deres produkter for forretningshemmeligheder uanset produktionsår. Nedbrydningsfirmaer er ligeledes blevet kontaktet, men det har ikke været muligt at finde vinger, som skulle skrottes.

Hos *Green-Ener-Tech Aps* er forskellige vinger blevet besigtiget, men de har været dele af en hel mølle til videresalg, og det har derfor ikke været muligt at adskille en vinge og undersøge den indvendige geometri og de benyttede materialer. Det har dog været muligt at få adgang til den ydre geometri af vingerne og på baggrund af optegnelser, fotos, beskrivelser fra Vestas samt besøg hos Risø, er der optegnet en CAD-model af den 21 meter vinge, som benyttes på V44-600 Vestas-møllen.

Det har ikke været nødvendigt at kende den præcise opbygning af vingen, i forhold til materialedata med de applikationer Barsmark A/S har valgt. Den situation, hvor vingerne potentielt kan blive hårdest belastet, er som pontoner i aquakulturer, men oftest vil disse anlæg være placeret i fjorde og vige, hvor den dynamiske belastning fra bølger er minimal.



FIGUR 6

VINDMØLLEVINGE CAD MODEL

Modellen er baseret på et NACA-profil med en korde på 1,6 m ved vingeroden og 0,6 m ved vingspids samt et vrid på 15°. Det er den mølletype, der blev udvalgt i fase 1, men dataene kommer altså ikke direkte fra Vestas som håbet. Derfor er den heller ikke en 100 % kopi af geometrien, men det tætteste, det har været muligt at komme. Der er taget udgangspunkt i denne vingetype i det efterfølgende.

Der vil nødvendigvis være forskel i vingernes stand, og dermed forskelle i materialedataene, afhængig af den pågældende mølles placering, samt hvor længe den har været i brug. Generelt

gælder dog, at glasfiberarmeret umættet polyester (GUP), som optager kræfterne i vingerne, har rigtig gode egenskaber i forhold til udmattelse. Det er én af grundene til, at materialet benyttes til vinger og i kraft af, at møllerne bliver nedtaget før udmattelsesgrænsen nås, har de stadig stor statisk styrke¹. Hvis der var tale om applikationer, hvor materialernes fulde mekaniske styrke skulle udnyttes, ville det være nødvendigt at kende de eksakte data, men i de valgte applikationer er det altså ikke tilfældet. De udnytter i højere grad geometrien og vejrbestandigheden af vingerne end de mekaniske egenskaber.

¹ Brønsted, Lilholt, Lystrup 2005. *Composite Materials for Wind Power Turbine Blades*

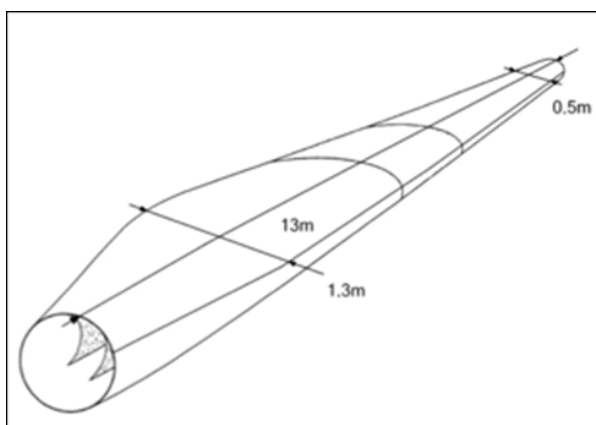
3. Tekniske specifikationer - Vestas V44-600kW model

Blade model	Swept area	Length	Width	Hub diameter	Weight
Vestas V44	1 521 m ²	21 m	0,6–1,6 m		840 kg ¹

TABEL 3

TEKNISKE SPECIFIKATIONER FOR EN VESTAS V44 MODEL VINGE. KILDE: VESTAS V44 TEKNISKE MANUAL.

¹ Vægt pr. vinge er ikke fundet. Men en samlet vægt på nacelle og vinge er tilgængelig (8400 kg). Antages et vægtfordelingsforhold på 70 % for nacellen og 30 % for de tre vinger, er en vægt pr. vinge på 840 kg fundet.



FIGUR 7

VESTAS V44 VINDMØLLEVINGE SKEMATISK.

Den tekniske Vestas V44 dokumentation (Vestas, 1995) angiver, at vingen er fremstillet af glasfiberforstærket umættet polyester.

Specialiseret litteratur kan give nøjagtige tal i forhold til de mekaniske egenskaber, der anvendes i vindmøllevinger. Brøndsted, Lilholt og Lystrup (Brøndsted, Lilholt, & Lystrup, 2005) antager egenskaberne vist i Tabel 4 for europæiske vindmøllevinger støbt i glasfiberforstærket umættet polyester.

Material	Volume fraction	Orientation of fibers	Stiffness	Tensile strength	Density
Polyester bonded glass fiber	30% glass fiber, 70% polyester	Randomly	9,3 GPa	420 MPa	1,6g/cm ³

TABEL 4

MEKANISKE EGENSKABER FOR GLASFIBERFORSTÆRKET UMÆTTET POLYESTER ANVENDT TIL EUROPÆISKE VINDMØLLEVINGER. KILDE: BRØNDSTED, LILHOLT OG LYSTRUP, 2005

Forfatterne nævner, at disse tal er udledt under forudsætning af en polyester-matrix med et elasticitetsmodul $E_m = 3\text{GPa}$, en trækstyrke $\sigma = 100\text{MPa}$ og en densitet $\rho_m = 1,2\text{g/cm}^3$.

4. Indledende analyse af applikationer

4.1 Parametre til bedømmelse af idéerne til genbrug

Der er opstillet en række parametre, som er brugt til at vurdere kvaliteten af idéerne til forskellige applikationer af de nedtagne vinger. Parametrene, samt en forklaring til disse, er skematiseret herunder.

4.2		Forklaring
Afsætning	Potentiale	Hvor meget der kan afsættes.
Udnyttelsesgrad	Geometri	I hvor høj grad anvendes hele vingen som den er uden at ændre geometrien ved f.eks. at skære den i mindre stykker.
	Materiale, mekanisk	I hvor høj grad de mekaniske egenskaber (lav vægt i forhold til styrke og stivhed) udnyttes.
	Materiale, kemisk	I hvor høj grad de kemiske egenskaber udnyttes (korrosionsbestandighed samt kemisk resistens overfor mange kemikalier).
Miljø	Affaldsmængde	Hvor stor en del af vingen skal kasseres i applikationen.
	Energiforbrug	Hvor meget energi kræves der for at transformere vingen (bearbejdning og tilføjelse af dele som ikke er genbrug).
	Forurening	Hvor meget forurener det at transformere vingen (Skal den f.eks. males).
	Genanvendelse	Når den har udtjent sin funktion i den nye applikation, i hvor høj grad kan den bruges til noget andet efterfølgende. Hvis den er meget neddelte eller placeret på et svært tilgængeligt sted, kan den være vanskelig at genbruge.
	Transport	Hvor langt og hvordan skal den transporteres fra nedtagning til den er monteret i den nye applikation.
Økonomi	Indtjeningspotentiale	Hvor gode er mulighederne for at tjene på det.
	Investering	Hvor stor en investering skal der til for at producere emnet.
	Organisation	Hvor meget organisatorisk kræves der for at administrere hele processen fra nedtagning til omdannelse til den er monteret i den nye applikation.
	Finansiering	Hvor gode er mulighederne for at financiere det.
Drift	Logistik	Hvor svært tilgængelig er applikationen geografisk.
	Teknologi	Hvor højt et teknologisk niveau kræves der for at lave emnet.
	Produktion	Kræves der et stort produktionssetup.
	Forretningsmodel	Hvor meget tror vi overordnet på idéen.

Idéer til forskellige applikationer hvor vingerne genbruges

På en række møder hos Barsmark A/S er mulighederne for at genbruge vingerne diskuteret. Der findes i forvejen nogle eksempler, hvor vinger er blevet brugt til nye ting, men de er relativt begrænsede og tilsyneladende kun brugt i showcases uden at slå igennem efterfølgende. Det mest gennemførte eksempel, der er fundet, er Wikado legepladsen i Rotterdam, som ses på nedenstående billeder.



FIGUR 8
WIKADO LEGENPLADSEN I ROTTERDAM

Derudover er der udtænkt en række forskellige muligheder for at bruge vingerne som spær i åbne og lukkede byggerier, men et af problemerne med den løsning er vingerens bredde. De kommer til at fylde meget, og det er svært at se det blive til en elegant, æstetisk løsning.

De idéer, der er genereret på møderne hos Barsmark, er kategoriseret og skematiseret herunder.

		Forklaring
Miljø		
	Vandopsamling	To vinger bruges som søjler til at udspænde et net hvorpå dug samles
	Støjbarrierer	Skåret i sektioner og samlet i serier eller liggende i fuld størrelse for at danne en mur, F.eks. på motorvejen.
	Kunstigt rev	Enten offshore til at skabe liv, eller tættere på land som kystbeskyttelse. Offshore med passende huller i lagt tilfældigt, eller plantet i en opretstående "skov"
	Støj/klimaskærm	Opstillet i række forbundet af vandrette strimler til beplantning som et espalier. Vingerne kan fyldes med jord og vandes, og planterne gro i udskårne huller
	Vandpumpning	På møller til vandpumpning i ulande
	Barrierer	Til at lave afgrænsning/inddæmning

		Forklaring
Byggeri		
	Multianlæg	Som skateboardramper, vægge osv. i udendørs anlæg
	Pontoner	Afgrænsning i havnebade, bådebroer i lystbådshavne
	Tagkonstruktion	Spær
	P-overdækning	Skaltage til carporte
	Søjler	Bærende elementer
	Parkinventar	Borde, bænke, afskærmning, lejereds kabler
	Swimmingpool	Miniudgave i flækket form, solbænke
	Drivhuse	Som bærende elementer eller muligheder for afskærmning
	Broer	Som vandrette eller lodrette bærende elementer. Alternativt pyloner
	Klatrevægge	Som de er, påført greb
	Udendørs inventar	En ret bred kategori der dækker overdækninger til cykler i bymiljøet til carporte i form af mindre installationer, som det allerede kendes ved lejligheder, rækkehuse og nogle arbejdspladser. Disse kunne også indeholde et mindre rum i den ene ende til redskaber ol. Denne konstruktion kan videreudbygges og fungere som en mindre salgsbod med borde/bænke under halvtaget. Derudover indeholder kategorien "Parkinventar", "P-overdækning" og "Skiltning".

		Forklaring
Energi		
	Bølgeenergi	Som pontoner
	Solenergi	Solceller monterede på vingerne som kan drejes for at følge solen

Bioenergi	Som tanke til omdannelsesprocessen
Vind til varme	På møller som laver friktion

Industri	
Rensningsanlæg	Bestandige komponenter
Aquakultur	Flydende pontoner med net imellem
Isolatorer	Elektrisk isolering i form af tavler eller enkeltkomponenter
Strukturelle indlæg	Eksisterende komponenter vurderes med henblik på at udskifte disse med emner fræset ud af passende steder på vingen. Det kan være plader til afskærmning, hjulophæng, forskellige arme..
Bilkomponenter	
Maskinindustri	
Kemiindustri	Bestandige komponenter
Offshore	Bestandige komponenter
Bådindustri	Bestandige komponenter
Skiltning	Som standere
Transportable rensningsanlæg	Som tanke i et sådan
Højspændingsmaster	Som de er
Mosaik	Til facadebeklædning, fortove, rækværk
Landbrug	Staldinventar af forskellig art

4.3 Indledende diskussion af ideerne

Alle idéerne er efterfølgende diskuteret, og nogle af dem er sorteret fra, før de overhovedet er blevet vurderet på de opstillede parametre, idet det har været mere eller mindre indlysende, at de ikke har været gangbare.

Nogle af de andre idéer er samtidig blevet samlet i to nye kategorier:

"Udendørs inventar" som er en ret bred kategori der dækker fra overdækninger af cykler i bymiljøet til carporte i form af mindre installationer, som det allerede kendes ved lejligheder, rækkehuse og nogle arbejdspladser. Disse installationer kunne også indeholde et mindre rum i den ene ende til redskaber og lignende. Konstruktion kan videreudbygges og fungere som en mindre salgsbod med borde/bænke under halvtaget. Derudover indeholder kategorien "Parkinventar", "P-overdækning" og "Skiltning".

"Sekundært" er en kategori for sekundære anvendelser for de dele af vingen, som ikke kan bruges i den primære applikation eller som kan medføre en højere indtjening i en af de sekundære anvendelser. Det kan f.eks. være tilfældet med vingeroden, hvor der i den primære applikation ikke er behov for den store godstykkelse, som i stedet kan udnyttes til at fræse mindre, tekniske komponenter ud af. De frasorterede idéer, samt grunden til at de ikke er blevet viderevurderet, er listet herunder sammen med de idéer, der er flyttet til en af de to nye kategorier:

- *Vandpumpning*: Det giver ikke mening at sætte en ny mølle op og montere gamle vinger.
- *Barrierer*: Det er mere oplagt at lave en jordvold på stedet.
- *Tagkonstruktion*: Vingerne vil være alt for dominerende i konstruktionen.
- *P-overdækning*: Idéen er blevet en del af "Udendørs inventar".
- *Søjler*: Vingerne vil optage for stort et areal.
- *Parkinventar*: Idéen er blevet en del af "Udendørs inventar".
- *Swimmingpool*: Poolen vil være meget lavvandet i 2/3 af længden. Desuden vil den være ret smal i forhold til længden.
- *Solenergi*: Vingeres krumme flader er ikke hensigtsmæssige til montering af solceller. Dermed bliver ingen af vingens egenskaber udnyttet.
- *Bioenergi*: Vingerne har en uhensigtsmæssig form i forhold til omrøring, fyldning/tømning og rengøring.

- *Vind til varme*: Som med vandpumpning giver det ikke mening at sætte en ny mølle op og montere gamle vinger.
- *Bølgeenergi*: Vingens geometri er ikke effektiv nok i forhold til udgifterne til resten af anlægget.
- *Drivhuse*: Vingerne fylder for meget og vil derfor stjæle for meget af lyset.
- *Isolatorer*: Materialet i vingerne er ikke homogent nok til at overholde kravene.
- *Strukturelle indlæg, bilkomponenter, maskinindustri, kemiindustri, offshore, bådindustri, landbrugsinventar*: Det er besluttet at samle alle disse under ét kaldet
- "Sekundært". De vil fungere som sekundære anvendelser for de dele af vingen, som ikke kan bruges i den primære applikation, eller kan medføre en højere indtjening i en af de sekundære anvendelser. Det kan f.eks. være tilfældet med vingeroden.
- *Skiltning*: Idéen er blevet en del af "Udendørs inventar".
- *Mosaik*: Materialet har for mange forskellige tykkelser og krumninger. Der bliver for meget arbejde med at tilpasse og lave overlapninger.

4.4 Vurdering af de videreførte idéer

De idéer der er tilbage, samt kategorien "Udendørs inventar", er blevet samlet i nedenstående matrix, hvor de er bedømt fra ét til ti, med ti som det bedste, på de parametre som blev opstillet tidligere. Kategorien "Sekundært" er ikke bedømt, idet bedømmelsen vil være afhængig af den eksakte applikation.

Vandopsamling, hvor et net spændes ud imellem to vinger og vand fra luften kondenserer på nettet, er en idé som på mange måder giver god mening. Opsamling af vand i områder, hvor det er en knap resurse, er helt i tråd med den grønne tankegang, der kendetegner et projekt, der omhandler genbrug. Udfordringen er, at det bliver svært at lave en forretning, fordi der sjældent er ret meget finansiering til rådighed til sådanne projekter, og vingerne skal i mange tilfælde transporteres over lange strækninger med manglende infrastruktur for at blive installeret. Derudover kræves der etablering af et fundament, net og rørsystemer.

Højspændingsmaster, hvor vingerne monteres på et fundament og bruges stort set som de er, har den fordel at vingerne i sig selv fungerer som isolatorer. Udfordringerne er installationsomkostninger, hvor de skal konkurrere med f.eks. gittermaster samt æstetikken i kraft af, at de vil fylde en del i landskabet i forhold til standardløsningerne.

Støjbarrierer, hvor de enten skæres i sektioner, som samles til en mur, eller liggende i fuld størrelse, vil kunne aftage meget store mængder, hvis man forestillede sig, at de blev installeret ved f.eks. motorveje. Installationsomkostningerne er begrænsede, forudsat at det er muligt at samle konstruktionen på en måde, som overflødiggør et fundament.

Fælles for disse tre muligheder er, at vingerne kan benyttes, uden at der skal bruges ret mange resurser på at tilpasse dem. Det drejer sig for de to første muligheder om at lave nogle få fastgørelsespunkter, hvilket også gør sig gældende for den sidste mulighed, hvis vingerne bruges i fuld størrelse. Der er derfor ikke lavet begrænsninger for, hvad vingerne kan bruges til på et endnu senere tidspunkt, og der er samtidig intet spild. Udfordringen for alle tre idéer er, at der findes andre alternativer, som måske løser opgaverne bedre.

Kunstigt rev, hvor vingerne enten ligger i en tilfældig bunke eller er arrangeret i et system på havbunden, eller bruges som onshore kystbeskyttelse, vil i det første tilfælde betyde, at der kan skabes en oase i havet, som det f.eks. kendes fra sunkne skibe og moler. Dette vil betyde større biodiversitet, som vil være til gavn for både fiskeri og fritidsdykkere.

Aquakultur, hvor vingerne bruges som pontoner til at holde nettene oppe i havdambrug, giver mulighed for at lave en konstruktion som en mand kan bevæge sig rundt på og som kan indeholde forskellige remedier.

Pontoner, hvor vingerne kan bruges i forbindelse med havnebade eller lystbådshavne, hvor de både kan bruges på land som soldæk, som afskærmning for bølger og strøm og som bådebroer, giver mulighed for at lave en anderledes arkitektonisk installation, hvor vingerens bestandighed og geometri kan udnyttes. Her vil der også være mulighed for at lave opbevaringsrum i vingerne til forskellige remedier.

Der er mulighed for at lave relativt store installationer med disse ideer, men det er også muligt at lave mindre pilotprojekter, hvor en enkelt vinge benyttes til at vurdere idéen. Udfordringerne er de samme, hvad enten vingerne skal installeres offshore eller direkte på kysten; Der er behov for at fastholde dem i positionen under alle vejrforhold, og der skal kigges på, hvad der sker med vingerne, når de nedbrydes i havvandet. Produktionen af sejlbåde i glasfiber tog fart i 60'erne, og mange af dem sejler stadig. Ofte har årsagen til skrotning været, at alt andet end skroget har været udtjent. Derfor er det nærliggende at forestille sig, at vingerne også vil klare sig godt i dette miljø.

Multianlæg, hvor vingerne bruges til skateboardramper, vægge osv. minder lidt om idéen fra den førnævnte legeplads i Rotterdam. For at få det til at virke kræver det en virkelig gennemført løsning, som fungerer på grund af vingerne og ikke på trods af dem. Hvis der skal laves for mange tilpasninger og kompromiser, findes der bedre alternative byggematerialer.

Udendørs inventar, som dybest set er en overdækning med mulighed for at have et lukket rum i forbindelse med overdækningen, har den fordel, at der er et væld af anvendelsesmuligheder. Man kan forestille sig, at en hel vinge udnyttes på en måde, hvor roden bruges som et rum i midten, og resten af vingen flækkes til to skaller, der strækker sig ud til hver side. Skallerne kan vendes, så indersiden vender opad og danner en lang rende, der kan fyldes med beplantning, eller med ydersiden opad, så de fungerer som et mere traditionelt tag. Det kan også være en langt mindre konstruktion, hvor rumdelen laves af en sektion midt på vingen og dermed bliver mindre i omfang, samtidig med at det kun er den yderste del af vingen, der benyttes til halvtag. En endnu mindre konstruktion kunne være en carport, hvor kun et stykke af den skal understøttes af metalstænger.

Støj/klimaskærm, hvor rækker af opretstående vinger fyldes med et egnet medie og beplantes, er interessant fordi man på relativ kort tid kan lave en lang, høj, grøn mur, hvor vingerne enten står tæt eller forbindes med tværgående strimler lavet af en anden vinge. Det kan også være et enkeltstående højt, grønt, "træ" som, pga. muligheden for mange huller i vingen, og dermed mange planter, kan opnå en tæt beplantning meget hurtigt. Man kan forestille sig, at der plantes en kombination af stedsegrønne dækplanter, som hurtigt omslutter vingen, kombineret med alt fra blomster til træer. Hvis der plantes træer med passende mellemrum, vil disse komme til at fremstå som grene, der vokser ud fra "stammen". Tilførslen af vand kan ske vha. en lille vindmølle monteret på toppen. For at få idéen til at fungere kræves der et fundament til at montere vingen på, den rigtige type beplantning, samt styring af vand og gødning.

		Vandopsamling	Højspændingsmaster	Støjbarrierer
Afsætning				
	Potentiale	10	10	10
Udnyttelses-grad				
	Geometri	10	9	10
	Materiale, mekanisk	3	3	8
	Materiale, kemisk	7	7	7
Miljø				
	Affaldsmængde	10	10	10
	Energiforbrug	10	10	10
	Forurening	10	10	10
	Genanvendelse	10	10	10
	Transport	5	8	9
Økonomi				
	Indtjenings-potentiale	2	6	6
	Investering	8	8	8
	Organisation	5	8	8
	Finansiering	5	8	8
Drift				
	Logistik	3	9	9
	Teknologi	10	9	10
	Produktion	10	9	9
	Forretningsmodel	2	8	8

		Kunstigt rev	Aquakultur	Pontoner
Afsætning				
	Potentiale	10	10	5
Udnyttelsesgrad				
	Geometri	10	10	10
	Materiale, mekanisk	6	10	8
	Materiale, kemisk	10	9	9
Miljø				
	Affaldsmængde	10	10	10
	Energiforbrug	10	10	10
	Forurening	?	10	10
	Genanvendelse	2	3	8
	Transport	8	8	7
Økonomi				
	Indtjeningspotentiale	5	8	6
	Investering	8	8	7
	Organisation	8	8	7
	Finansiering	8	8	8
Drift				
	Logistik	8	9	8
	Teknologi	10	9	5
	Produktion	7	8	5
	Forretningsmodel	8	9	7

		Multianlæg	Udendørs inventar	Støj/klimaskærm
Afsætning				
	Potentiale	10	10	10
Udnyttelsesgrad				
	Geometri	5	8	10
	Materiale, mekanisk	7	9	8
	Materiale, kemisk	7	7	8
Miljø				
	Affaldsmængde	6	8	10
	Energiforbrug	6	6	10
	Forurening	7	8	10
	Genanvendelse	6	6	7
	Transport	7	7	8
Økonomi				
	Indtjeningspotentiale	7	8	7
	Investering	6	6	6
	Organisation	6	6	6
	Finansiering	7	9	8
Drift				
	Logistik	7	9	8
	Teknologi	6	6	8
	Produktion	5	5	6
	Forretningsmodel	7	9	9

5. Støjskærme

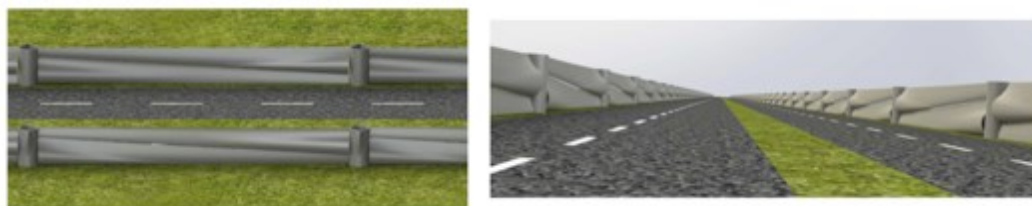
Afsnittet undersøger muligheden for at anvende rotorblade som støjskærme: enten som de er, eller som samlede underdele. Målet er at finde en løsning, der udnytter vingen med mindst mulig spild (og en deraf minimeret affaldsproduktion), der er let at bearbejde og installere og resulterer i en støjreducerende mur. Denne løsning henvender sig primært til veje og jernbaner i boligområder, således at den æstetiske faktor også kommer i spil.

5.1 Løsning 1

5.1.1 Beskrivelse

Ved at skære roden af to blade og placere en oven på den anden er det muligt at opnå en 2,2 m høj og 18 m lange væg. Afhængigt af den nøjagtige type vinge og geometri vil der være et mellemrum mellem de to vinger.

Det er således muligt at have en vinge, der går ned lidt foran den anden og således skaber en overlappning. Roddelen har sit fundament 1 meter under jorden, og den resterende del af bladene er monteret på det ved hjælp af slidser, der er fastsat i roden - eller en konsol, der forbinder delene. Vingens rødder kan prydes med plantede blomster, træer eller buske.



FIGUR 9
HELE ROTORBLADE, DER ANVENDES SOM EN STØJSKÆRM.

5.2 Økonomisk analyse

Dette underafsnit forsøger at vurdere de forskellige økonomiske investeringer, omkostninger og afkast af investeringen som kommer fra applikationen fra indkøb, ned til realisering og implementering af en funktionel enhed, der indstilles som 100m støjskærm på begge sider af en vej.

På grund af store usikkerheder i forhold til flere omkostningsparametre, er det blevet valgt at arbejde med værdiintervaller og køre en Monte Carlo simulering baseret på 50.000 kørsler. Tabel 5 viser de parametre, der anvendes for det økonomiske skøn. Tabel 6 viser resultaterne af det økonomiske skøn over 5 år. Endelig viser Figur 10 og Figur 11 en grafisk illustration af sandsynlighedsfordelingen af de samlede omkostninger og det potentielle investeringsafkast.

Ud fra resultaterne er applikationen økonomisk bæredygtig. Dette gælder dog kun når:

- et tilskud modtages fra mølleproducenterne til aftagning af Eol vinger,
- vingens længde ikke kræver ukonventionel transport (som det er tilfældet med særligt lange modeller),
- salgsprisintervallet på DKK [224; 373] / m² kan overholdes.

TABEL 5
LISTE OVER PARAMETRE

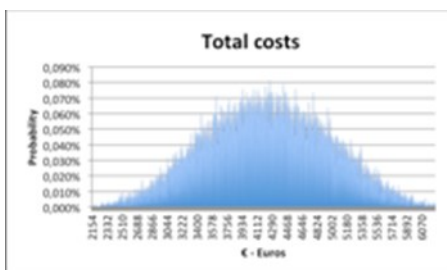
Name	Description	Unit	Interval/Value
iProcurement	Number of blades required	Integer	22,2
iTransptDist	Transport distance	km	[50;150]
iSubsidy	Subsidy for collection of <i>EoL</i> rotor blades	DKK/blade	[746;1492] ¹
iTransptCost	Cost of transport	DKK/ton	[895;1193] ²
iProcess	Processing of the blade	DKK/blade	[373;597] ³
iInstall	Installation of the blade	DKK/blade	[746;1119] ⁴
iAdmin	Administration costs	DKK/100m of noise barrier	[746;2237] ⁵
iMaintenance	Maintenance costs (incl. paint)	DKK/year	22371
iPrice	Sale price	DKK /m ²	[224;373] ⁶

¹Estimate based on the average collection subsidy amount Barsmark receives from Vestas when collecting blades production waste. ²Parameter based on IF Nedbrydning's estimates (demolition/recycling company), using average transportation means. ³Based on StatBank Danmark (Statistics Denmark) average hourly labor total costs of DKK 256/h in the construction industry, assuming a 45-133% profit margin. ⁴Based on StatBank Danmark (Statistics Denmark) average hourly labor total costs of DKK 256/h in the construction industry, assuming 2 hours of work per blade and a 45-118% profit margin. ⁵Based on Barsmark's average total labor costs of DKK 300/h. ⁶Based on selling prices seen on the Internet for similar highway noise barriers structures.

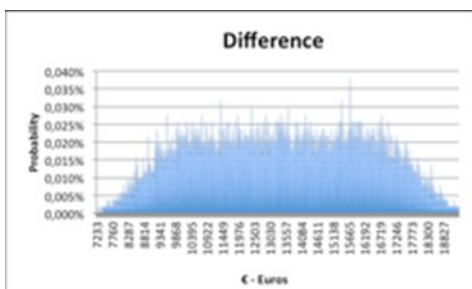
TABEL 6
MONTE CARLO ANALYSERESULTATER FOR 100M AF STØJSKÆRMEN, BEGGE SIDER.

	Unit	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Procurement	DKK	-20895				
Transport	DKK	19478				
Processing	DKK	31476				
Administration	DKK	1491				
Maintenance	DKK		22707 ¹	23048 ¹	23394 ¹	23745 ¹
Total costs	DKK	31551				
Sale price	DKK	131244				
Difference	DKK	99693				

¹Theoretical 1,5% inflation rate applied. Maintenance costs supported by a third party.



FIGUR 10
SANDSYNLIGHEDSFORDELING AF DE SAMLEDE OMKOSTNINGER. 68 % KONFIDENSINTERVAL KR. [26.368; 36.734].



FIGUR 11
FORSKELLEN I SANDSYNLIGHEDSFORDELING. 68 % KONFIDENSINTERVAL KR. [80.044; 119.343].

5.2.1 Miljøanalyse

For at vurdere den miljømæssige betydning af designet, er analysen baseret på Life Cycle Assessment metoden, der er standardiseret af den internationale ISO 14001 norm serie. Normen er normalt meget detaljeret, men analysen gennemført for dette arbejde er kort og på screeningsniveau med det ene formål at udvikle hurtige miljøindikatorer i form af udslip af drivhusgasser og primært energiforbrug for at hjælpe i beslutningsprocessen. Hvis applikationerne blev nærmere undersøgt, ville en grundig Life Cycle Assessment skulle udvikles.

Tabel 7 præsenterer resultaterne for Cradle-to-use Life Cycle Assessment screening af den foreslåede støjskærm, med 100m af støjskærm på begge sider valgt som funktionel enhed.

Resultaterne tyder på, at materiale- og energi forbruget ved den marginale produktion af 440m² aluminiumsplader er næsten tidobbelte i forhold til den miljømæssige byrde der knytter sig til fremstilling, transport, installation og vedligeholdelse af støjskærmen i vinger.

Opmærksomheden skal dog henledes på vedligeholdelse, hvor produktionen af maling og andre belægninger kan være en bekymring i forhold til udledningen af drivhusgasser og energiforbrug. Skulle dette designforslag undersøges nærmere, bør miljøvenlige muligheder for vedligeholdelse medtænkes.

TABEL 7
RESULTATER AF CRADLE-TO-USE LIVSCYKLUSVURDERING

Operation	Quantity	CO ₂ eq. ¹	Primary energy demand ²
Procurement	23 polyester-reinforced glass fiber blades	0kg ³	0MJ ³
Transport (road)	1 930tkm	206kg	3 560MJ
Cutting (sawing)	82 800s	127kg	3 220MJ
Installation (digging, drilling)	40m ³	12,2kg	186MJ
Maintenance (incl. painting and powder coatings)	23 blades, over 5 years	691kg	20 100MJ
Displaced production	440m ² aluminum boards	-19 700kg ⁴	-239 000MJ ⁴
Total		-18 600kg	-212 000MJ

TABLE 7 – Cradle-to-use Life Cycle Impact Assessment results

¹Characterization model provided by the IPCC GWP_{100a}. ²Developed by EcoInvent and expanded by Pré Consultants. ³None emissions is linked to the procurement of blades as their existence is primarily linked to wind power generation, not to noise barrier applications. Hence, should the noise barrier application be non-existent, the blades would still be produced, and their consequent environmental burden witnessed. ⁴Emissions otherwise emitted by producing the indicated quantity of aluminum boards.

5.2.1.1 Begrænsninger

Der kan opstå problemer på logistik-niveau ved transport af 21m lange rotorblade. Problemerne kan opstå i forbindelse med den tekniske transport, men også transporttilladelser fra de kompetente myndigheder.

5.2.1.2 Fordele

Udformningen tillader disse vægge at blive placeret efter hinanden på den måde, at vingens rod er fastgjort til den foregående væg: det skaber en kontinuerlig barriere. Denne løsning udgør en væg, der er relativt ensartet på begge sider. Princippet er vist i Figur 9.

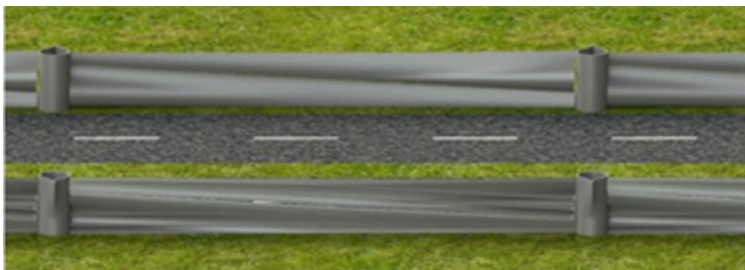
Den forventede mængde af Vestas V44 vinger, der skal nedtages i de kommende år inden for grænserne af Danmark giver en kapacitet på støj-afskærmning på omkring 27 kilometer. Imidlertid kan denne løsning let tilpasses andre vingedesign, hvilket gør det en omfattende lyddæmpende løsning. Mens der er to blade, der anvendes i denne opløsning, kan man også nøjes med at anvende ét blad, men naturligvis med en reduceret højde.

Økonomiske resultater: 4/5 - Miljømæssige resultater: 5/5

5.3 Løsning 2

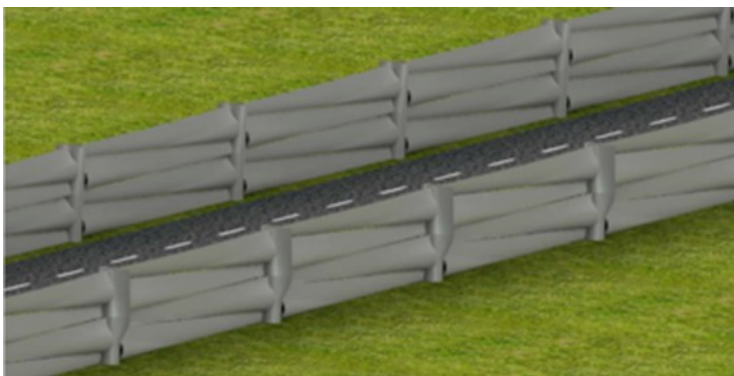
5.3.1 Beskrivelse

Dette design er baseret på Løsning 1 med den forskel, at bladet er delt langs de forreste og bageste kanter i længderetningen, således at der opnås to skaller. Som det fremgår af Figur 12 betyder det, at muren får to forskellige sider; Den ene er stadig vingens yderside, mens den anden er den indvendige side af vingen. Løsningen betyder, at der kun bruges én vinge til at lave den samme mur som før, og der er ikke en vingerod i overskud.



FIGUR 12

STØJSKÆRM MED TO STABLEDE KONKAVE VINGESKALLER.



FIGUR 13

LØSNING, HVOR VINGERNE ER STABLEDE OG HØJDEN DERMED FORDOBLET.

Begge løsninger kan udvides i højden ved at stable flere vinger ovenpå hinanden og bruge mere af vingen end bare roden imellem dem. Princippet er visualiseret på Figur 13.

Fra et mekanisk synspunkt er belastningen på vingerne forsvindende lille i forhold til, hvad de blev dimensioneret til. Selv om materialets mekaniske egenskaber er degraderede, opstår der næppe problemer hverken i forhold til installation, eller efter de er installeret. Løsningen, hvor vingen er flækket, kan muligvis betyde, at de skal behandles mere forsigtigt, men ikke i en sådan grad at det kræver specialudstyr.

Vingerne vil ikke fungere som autoværn. Rammes de af en bil vil kompositten splintres, og det kan på fatale konsekvenser for de implicerede. Samtidig vil vingen opføre sig på forskellige måder afhængig af hvor bilen rammer.

Det har ikke muligt at vurdere den eksakte reduktion af lyden uden præcise materialedata, men der er ikke grund til at tro, at denne konstruktion vil være mindre effektiv, end de konstruktioner der benyttes på nuværende tidspunkt. En endelig bestemmelse af effektiviteten vil formodentlig ikke

være mulig uden at lave direkte tests på en prototype i forskellige scenarier, idet mange forskellige faktorer spiller ind på akustik.

5.3.2 Økonomisk analyse

På grund af store usikkerheder i forhold til flere omkostningsparametre er det blevet valgt at arbejde med værdiintervaller og køre en Monte Carlo simulering baseret på 50.000 kørsler. Tabel 8 viser de parametre, der anvendes for det økonomiske skøn. Tabel 9 viser resultaterne af det økonomiske skøn over 5 år. Endelig viser Figur 14 en grafisk illustration af sandsynlighedsfordelingen af de samlede omkostninger og det potentielle investeringsafkast.

Som for Løsning 1 skal antagelserne holde stik for, at der er økonomisk rentabilitet. Vi antager ligeledes, at den endelige salgpris sandsynligvis er lavere, idet mindre materiale anvendes. I fremtiden skal man også være opmærksom på lavere transportafstande.

TABEL 8
LISTE OVER PARAMETRE

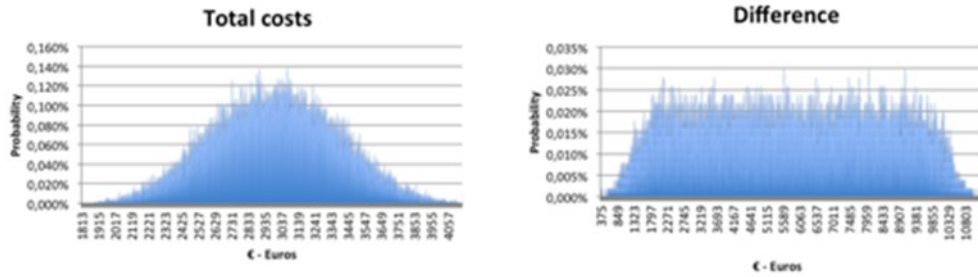
Name	Description	Unit	Interval/Value
iProcurement	Number of blades required	Integer	11,1
iTransptDist	Transport distance	km	[50;150]
iSubsidy	Subsidy for collection of EoL rotor blades	DKK/blade	[746;1492] ¹
iTransptCost	Cost of transport	DKK/ton	[895;1193] ²
iProcess	Processing of the blade	DKK/blade	[746;1119] ³
iInstall	Installation of the blade	DKK/blade	[810;1193] ⁴
iAdmin	Administration costs	DKK/100m of noise barrier	[746;2237] ⁵
iMaintenance	Maintenance costs	DKK/year	23118
iPrice	Sale price	DKK /m ²	[75;224] ⁶

¹Estimate based on the average collection subsidy amount Barsmark receives from Vestas when collecting blades production waste. ²Parameter based on IF Nedbrydning's estimates (demolition/recycling company), using average transportation means. ³Based on StatBank Danmark (Statistics Denmark) average hourly labor total costs of DKK 256/h in the construction industry, assuming 2 hours of work per blade and a 45-133% profit margin. ⁴Based on StatBank Danmark (Statistics Denmark) average hourly labor total costs of DKK 256/h in the construction industry, assuming 2,2 hours of work per blade and a 45-118% profit margin. ⁵Based on Barsmark's average total labor costs of DKK 300/h. ⁶Based on selling prices seen on the Internet for similar highway noise barriers structures. Price decreased in comparison to Solution 1.

TABEL 9
MONTE CARLO ANALYSERESULTATER

	Unit	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Procurement	DKK	-10 448				
Transport	DKK	9 747				
Processing	DKK	21 544				
Administration	DKK	1 491				
Maintenance	DKK		23 465 ¹	23 817 ¹	24 174 ¹	24 537 ¹
Total costs	DKK	22 335				
Sale price	DKK	65 610				
Difference	DKK	43 283				

¹Theoretical 1,5% inflation rate applied. Maintenance costs supported by a third party.



(a) Total costs probability distribution. 68% confidence interval DKK [19 553; 25 109]. (b) Difference probability distribution. 68% confidence interval DKK [24 125; 62 441].

FIGUR 14
MONTE CARLO ANALYSERESULTATER

5.3.3 Miljøanalyse

Som med det foregående design, bygger analysen på Life Cycle Assessment metoden. For at opnå et sammenligningsgrundlag til at vurdere designs på et retfærdigt grundlag, vil vi også her vurdere miljøbelastningen i form af primært energiforbrug og udledningen af drivhusgasser, med et vugge- til-brug omfang af analysen.

Tabel 10 præsenterer resultaterne for Cradle-to-use Life Cycle Assessment screening af den foreslåede støjskærm, med 100m af støjskærm på begge sider, valgt som funktionel enhed.

Tabel 10 viser, at designet giver klare miljømæssige fordele. Der skal dog gøres en indsats for at finde ud af en effektiv og besparende fremstillingsproces, samt reducerede energiintensive belægninger og maling til vedligeholdelse. Mens dette design kræver færre vinger, har det til gengæld brug for ekstra håndtering og behandling, men det bør være muligt at reducere den miljømæssige belastning af dette pga. de vejrbestandige egenskaber af glasfiberforstærket polyester samt biobaserede malinger til vedligeholdelse.

TABEL 10
CRADLE-TO-USE LIVSCYKLUSVURDERING RESULTATER

Operation	Quantity	CO ₂ eq. ¹	Primary energy demand ²
Procurement	12 polyester-reinforced glass fiber blades	0kg ³	0MJ ³
Transport (road)	1 010tkm	108kg	1 860MJ
Cutting (sawing)	86 400s	132kg	3 360MJ
Installation (digging, drilling)	20m ³	6,37kg	96,8MJ
Maintenance (incl. painting and powder coatings)	12 blades, over 5 years	1293kg	28 500MJ
Displaced production	440m ² aluminum boards	-10 300kg ⁴	-125 000MJ ⁴
Total		-8 761kg	-91 183MJ

¹Characterization model provided by the IPCC GWP_{100a}. ²Developed by Ecolnvent and expanded by Pré Consultants. ³None emissions is linked to the procurement of blades as their existence is primarily linked to wind power generation, not to noise barrier applications. Hence, should the noise barrier application be none existent, the blades would still be produced, and their consequent environmental burden witnessed. ⁴Emissions otherwise emitted by producing the indicated quantity of aluminum boards.

5.3.3.1 Begrænsninger

Dette design kræver mere bearbejdning af vingen og har brug for ekstra behandling for at trimme kanterne. Yderligere behandling med forsegling bør også anvendes på udsatte overflader af balsatræ.

5.3.3.2 Fordele

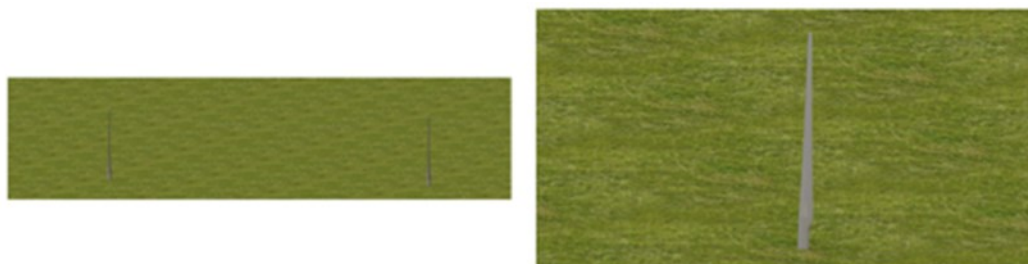
Dette resulterer i den samme funktion som i Løsning 1, men i stedet for en hel vinge bruges kun en halv. Dette øger dermed strækningen der kan afskærmes med vingetypen så den kommer op på 54 kilometer.

Økonomiske resultater: 2/5 - Miljømæssige forestillinger: 5/5

6. Højspændingsmaster

6.1 Beskrivelse

Idéen med at benytte vinger som højspændingsmaster kommer bl.a. af, at glasfiberforstærket umættet polyester er en glimrende isolator. Ifølge Energinet findes der adskillige mastetyper, som generelt er imellem 34 og 52 meter høje, men der findes også master, som er lavere. Masternes højde er bestemt af terrænet, så de er høje i områder med skov og lavere ved veje osv. Almindelige elmaster er meget stive, hvilket er med til at begrænse den dynamiske påvirkning på ledningerne. Hvis vingerne opstilles i åbent landskab, hvor der er vindpåvirkning, vil de svaje mere end traditionelle mastetyper. Vingerne er stivere på den brede led end den smalle, men ligegyldigt hvordan de vendes i forhold til ledningernes retning, vil der komme en større påvirkning af ledningerne end med traditionelle master. Fra et mekanisk synspunkt kan det derfor skabe nogle problemer for ledningerne, som ikke er der med traditionelle master. Stangens højde bestemmes af de miljømæssige kendetegn: temmelig høje i skovområder og lave langs veje. Sædvanligvis gør designet, at masterne bliver meget stive for at modvirke den dynamiske virkning af svajende ledninger. Hvis løsningen gennemføres på åbne marker kunne det se ud som vist på Figur 15.



FIGUR 15
HELE ROTORBLADE, DER ANVENDES SOM HØJSPÆNDINGSMASTER

For at imødegå dette problem kan masterne installeres i mindre blæsende områder såsom bolig-og byområder. Her kan der dog opstå spørgsmål om visuel integration.

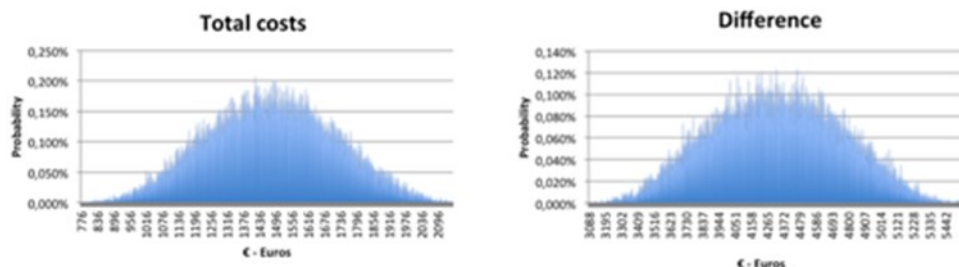
6.2 Økonomisk analyse

Som med det foregående underafsnit forsøger dette at vurdere de forskellige økonomiske investeringer, omkostninger og afkast af investeringen som kommer fra applikationen fra indkøb, ned til realisering og implementering af en funktionel som bliver sat som 100 meter eldistribution opnået vha. 4 master – en mast for hver 33,3 meter - er estimeret.

På grund af store usikkerheder i forhold til flere omkostningsparametre er det blevet valgt at arbejde med værdiintervaller og køre en Monte Carlo simulering baseret på 50.000 kørsler. Tabel 11 viser de parametre, der anvendes til det økonomiske skøn. Tabel 12 viser resultaterne af det økonomiske skøn over 5 år. Endelig viser Tabel 12 en grafisk illustration af sandsynlighedsfordelingen af de samlede omkostninger og det potentielle investeringsafkast.

Som for Løsning 1 skal antagelserne holde stik for, at der er økonomisk rentabilitet. Vi antager ligeledes, at den endelige salgspris sandsynligvis er lavere, idet mindre materiale anvendes. I fremtiden skal man også være opmærksom på lavere transportafstande.

Ud fra resultaterne er applikationen økonomisk bæredygtig. Faktorer, såsom jordtypen, hvor stangen skal installeres, kan imidlertid presse installationsomkostningerne op.



(a) Total costs probability distribution. 68% confidence interval DKK [9 287;12 771].

(b) Difference probability distribution. 68% confidence interval DKK [29 122;35 358].

FIGUR 16
MONTE CARLO ANALYSERESULTATER

TABEL 11
LISTE OVER PARAMETRE

Name	Description	Unit	Interval/Value
iProcurement	Number of blades required	Integer	3
iTransptDist	Transport distance	km	[50;150]
iSubsidy	Subsidy for collection of <i>EoL</i> rotor blades	DKK/blade	[746;1492] ¹
iTransptCost	Cost of transport	DKK/ton	[895;1193] ²
iProcess	Processing of the blade	DKK/blade	[746;1491] ³
iInstall	Installation of the blade	DKK/blade	[1119;2237] ⁴
iAdmin	Administration costs	DKK/100m of electricity distribution	[37;149] ⁵
iMaintenance	Maintenance costs	DKK/year	149
iPrice	Sale price	DKK /m ²	[9695;11932] ⁶

¹Estimate based on the average collection subsidy amount Barsmark receives from Vestas when collecting blades production waste. ²Parameter based on IF Nedbrydning's estimates (demolition/recycling company), using average transportation means. ³Based on estimates collected on the Internet, regarding electricity pole installation in USA. Costs levels in USA, although different, are assumed to fit for this study. ⁴Based on estimates collected on the Internet, regarding drilling and digging for electricity pole installation in USA. Costs levels in USA, although different, are assumed to fit for this study. ⁵Based on Barsmark's average total labor costs of DKK 300/h. ⁶Based on selling prices sourced from the Internet for similar utility poles in USA.

TABEL 12
MONTE CARLO ANALYSERESULTATER.

	Unit	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Procurement	DKK	-3 760				
Transport	DKK	3 514				
Processing	DKK	11 182				
Administration	DKK	90				
Maintenance	DKK		151 ¹	153 ¹	155 ¹	157 ¹
Total costs	DKK	11 033				
Sale price	DKK	43 272				
Difference	DKK	32 240				

¹Theoretical 1,5% inflation rate applied. Maintenance costs supported by a third party.

6.3 Miljøanalyse

En Life Cycle Assessment screening er udført på applikationen. Miljøbelastningen vurderes i form af primært energiforbrug og udledningen af drivhusgasser med et Cradle-to-use omfang af analysen.

Tabel 13 præsenterer resultaterne for Cradle-to-use Life Cycle Assessment screeningen af højspændingsmasten med 100 meter eldistribution, valgt som funktionel enhed.

Tabel 13 viser, at specifikke komponenter - og deres respektive industrielle forarbejdning - relateret til eldistribution, f.eks. kobber, zink og bly, der anvendes i kabler, bærer det meste af miljøbelastningen. Men erstattes traditionelle aluminium- og stålmaster med møllevinger bidrager det til at opnå betydelige besparelser i form af emission af drivhusgasser og energiforbrug.

TABEL 13
CRADLE-TO-USE LIVSCYKLUSVURDERINGSRESULTATER

Operation	Quantity	CO ₂ eq. ¹	Primary energy demand ²
Procurement	4 polyester-reinforced glass fiber blades	0kg ³	0MJ ³
Procurement (other materials)	Cables, copper, zinc, lead, concrete	934,36kg	13 158MJ
Transport (road, rail and sea)	955tkm	19,64kg	282MJ
Displaced production	62,2kg of aluminium, 111kg of steel, concrete	-690kg ⁴	-10 660MJ ⁴
Total		264kg	2 780MJ

Dataset issued from average statistical observations in Switzerland, extrapolated to Europe, provided by ESU Services. Includes high-to-medium voltage switching stations.

¹Characterization model provided by the IPCC GWP_{100a} ²Developed by EcoInvent and expanded by Pré Consultants. ³None emissions is linked to the procurement of blades as their existence is primarily linked to wind power generation, not to noise barrier applications. Hence, should the noise barrier application be none existent, the blades would still be produced, and their consequent environmental burden witnessed. ⁴Emissions otherwise emitted by producing the indicated quantity of aluminum and steel components usually present in utility poles.

6.3.1 Begrænsninger

Masterne er ikke egnede til områder med stærk vind, og der vil givetvis være udfordringer i forhold til det visuelle i nogle miljøer.

6.3.2 Fordele

Glasfiberforstærket umættet polyester fungerer som en fremragende elektrisk isolator.

Økonomiske resultater: 3/5 - Miljømæssige forestillinger: 1/5

7. Aquakultur

Fiskeindustri, især havbrug, oplever en betydelig vækst i produktionen. Der er derfor behov for stærke, korrosion- og vandbestandige strukturer til disse farme i offshore miljøer. Glasfiberforstærket umættet polyester er særligt velegnet til sådanne forhold.

7.1 Beskrivelse

Opdræt af fisk foregår i store undersøiske indhegninger med bund og sider som holdes oppe af flydere. Disse flydere er forbundet med stænger eller lignende på en måde, som gør, at nettet holdes udsprejdet i den ønskede position, og så folk kan bevæge sig rundt på konstruktionen. Ideen med vingerne er at udnytte deres flydeegenskaber, korrosionsbestandighed, muligheden for at opbevare forskellige remedier såsom foder o.l., samt det, at de kan fungere som gangbroer, en mand kan bevæge sig rundt på. Ofte er anlæggene opbyggede som store klaser af installationer, der er forbundne, og det er derfor nødvendigt at bevæge sig rundt imellem de forskellige net.

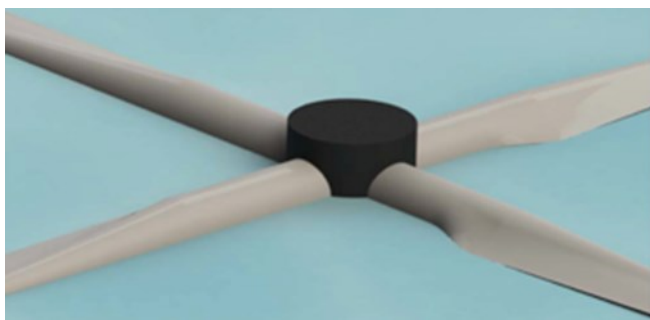
En vinge vejer ca. 840 kg og har et volumen på ca. 7.5 m³. Dermed er der 6,5 tons lastevne til rådighed pr. vinge, som kan benyttes både til at holde nettene, men også til opbevaring. Der kan eventuelt laves en lem i oversiden af vingen og opbevaringsrum inde i den. Vingen har større godstykkelse tæt ved roden end imod spidsen, men samtidig er volumen større. Sammen med længden, som er med til at stabilisere den, vil det betyde, at den vil ligge nogenlunde fladt på vandet. For at gøre vingen klar skal den lukkes i roden, så vandet ikke trænger ind. Der skal påføres en skridbelægning, monteres holdere til net og beslag til at forbinde vingerne med hinanden.

Mekanisk ville det være en udfordring, hvis anlæggene var installeret på åbent hav, hvor der er stor påvirkning fra bølger, men fordi en sådan placering også medfører problemer i form af begrænset adgang, risiko for at installationen river sig løs samt risiko for at fisk forsvinder, når bølgerne skyller over anlægget, placeres de på mere beskyttede steder. Den primære mekaniske påvirkning kommer fra den begrænsede bølgegang, der er, og må vurderes til ikke at udgøre et problem for selve vingerne. Det er mere sandsynligt, at der opstår problemer i forbindelse med samlingerne imellem vingerne eller i forbindelse med holderne til nettet. Hvis der bores huller i vingen til montering af bolte eller skruer, vil der være risiko for at vand trænger ind. Samtidig kan en punktbelastning, som en bolt vil være, øge risikoen for brud, idet materialet er relativt sprødt. På den baggrund vil det være fordelagtigt at sikre sig, at belastningerne fordeles over et tilstrækkeligt stort areal, samt at overgangene udføres på en måde, så risikoen for vandindtrængning minimeres. Pålimning af beslag kunne være en mulighed. Figur 17 illustrerer idéen som den kunne se ud.



FIGUR 17
STRUKTUR TIL HAVDAMBRUG

Placeringen af bladene kan være udformet på forskellige måder. Udformningen vist i Figur 18 indebærer, at vingerødderne kan samles i en nav-og-eger-lignende netværk og gøres vandtætte. Vingerne kan monteres direkte på navet, der på samme tid vil agere som et forbindende og forseglende element.



FIGUR 18
CLOSE-UP AF ET NAV-OG-EGER STRUKTUR TIL HAVDAMBRUG

Dette monteringsystem kan samles, reproduceres og udvides efter behov, som det ses i Figur 17.

7.2 Økonomisk analyse

Dette afsnit forsøger at vurdere de økonomiske konsekvenser af dette design. En funktionel enhed med et areal på 15.625 m² - det er et firkantet område på 125m gange 125m - er valgt, uden nettet og andet udstyr.

På grund af store usikkerheder i forhold til flere omkostningsparametre er det blevet valgt at arbejde med værdiintervaller og køre en Monte Carlo simulering, der er baseret på 30.000 kørsler. Tabel 14 viser de parametre, der anvendes til det økonomiske skøn. Tabel 15 viser resultaterne af det økonomiske skøn over 5 år.

Analysen viser, at applikationen er rentabel. Barsmark mangler viden i forhold til havbrug, og usikkerhedsparametrene i forbindelse med disse store strukturer kan let udbrede sig igennem analyse og i væsentlig grad påvirke slutresultaterne. Derfor skal resultaterne behandles med forsigtighed, især med hensyn til fremstillingsomkostningerne.

TABEL 14
LISTE OVER PARAMETRE

Name	Description	Unit	Interval/Value
iProcurement	Number of blades required	Integer	36
iTransptDist	Transport distance	km	[50;150]
iSubsidy	Subsidy for collection of <i>EoL</i> rotor blades	DKK/blade	[746;1492] ¹
iTransptCost	Cost of transport	DKK/ton	[895;1193] ²
iProcess	Processing of the blade	DKK/blade	[1492;2000] ³
iInstall	Installation of the blade	DKK/blade	[1492;2000] ⁴
iAdmin	Administration costs	DKK/structure	[3000;5000] ⁵
iMaintenance	Maintenance costs	DKK/structure	30 000
iPrice	Sale price	DKK /m ²	[700 000;800 000] ⁶

¹Estimate based on the average collection subsidy amount Barsmark receives from Vestas when collecting blades production waste. ²Parameter based on IF Nedbrydning's estimates (demolition/recycling company), using average transportation means. ³Estimate. ⁴Based on estimates collected on the Internet, regarding drilling and digging for electricity pole installation in USA. Costs levels in USA, although different, are assumed to fit for this study. ⁵Based on Barsmark's average total labor costs of DKK 300/h. ⁶Estimate.

TABEL 15
MONTE CARLO ANALYSERESULTATER

	Unit	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Procurement	DKK	-33 877				
Transport	DKK	31 590				
Processing	DKK	125 673				
Administration	DKK	4 002				
Maintenance	DKK		30 450 ¹	30 906 ¹	31 370 ¹	31 841 ¹
Total costs	DKK	127 388				
Sale price	DKK	750 089				
Difference	DKK	622 701				

¹Theoretical 1,5% inflation rate applied. Maintenance costs supported by a third party.

7.3 Miljøanalyse

En Life Cycle Assessment screening er udført på applikationen. Miljøbelastningen er vurderet i form af primært energiforbrug og udledningen af drivhusgasser med et Cradle-to-use omfang af analysen.

Tabel 16 præsenterer resultaterne for Cradle-to-use Life Cycle Assessment screening af konstruktionen med et overfladeareal på 15.625 m², uden nettet og andet udstyr, valgt som den funktionelle enhed.

Tabel 16 viser at brugen af rotorblade i stedet for en aluminium/plast-struktur medfører miljømæssige fordele. Men usikkerheden i livscyklusanalysen gør, at vi bør overveje de endelige resultater med forsigtighed. Flere undersøgelser i forhold til præcise materielle behov til fremstilling af den flydende konstruktion er nødvendig. Især er der stor usikkerhed i konkret materialekvalitet og kvantitet i forhold til den forsejlingsteknik der skal bruges til behandling af vingerne, som f.eks. kunne være en termohærdende pulverlak.

TABEL 16
CRADLE-TO-USE LIVSCYKLUSVURDERING

Operation	Quantity	CO ₂ eq. ¹	Primary energy demand ²
Procurement	36 polyester-reinforced glass fiber blades	0kg ³	0MJ ³
Procurement (other materials)	9 tons of stainless steel, cables, bolts, hardware	13 534kg	210 700MJ
Transport (road, rail and sea)	3 020tkm	323kg	5 580MJ
Processing (cutting, sawing, sealing)	36 blades	396kg	10 100MJ
Maintenance (incl. painting and powder coatings)	36 blades, over 5 years	3 880kg	85 500MJ
Displaced production	5,3t of aluminium alloy	-30 800kg ⁴	-374 000MJ ⁴
Total		-12 667kg	-62 120MJ

¹Characterization model provided by the IPCC GWP_{100a}. ²Developed by Ecolnvent and expanded by Pré Consultants. ³None emissions is linked to the procurement of blades as their existence is primarily linked to wind power generation, not to open net fish pen applications. Hence, should the net fish pen application be non-existent, the blades would still be produced, and their consequent environmental burden witnessed. ⁴Emissions otherwise emitted by producing the aluminium floating structure.

7.3.1 Begrænsninger

Konstruktionen vil ikke være velegnet i områder med stærke og høje bølger. Hvis konstruktionen ikke bliver korrekt udformet, kan lækager ødelægge konstruktionen. Desuden er havdambrug stærkt knyttet til økologisk forringelse af marine økosystemer på grund af fiskeundslip (forurening med eksogene arter) samt spredning af organisk affald, hvilket fører til større risiko for vandeutrofiering og iltsvind.

7.3.2 Fordele

Glasfiberforstærket umættet polyester passer perfekt i fugtige og korrosive miljøer. Det garanterer en lang levetid for strukturen. Desuden vil udformningen af vingerne tillade opbevaring af udstyr og dække et stort areal.

Økonomiske resultater: 5/5 - Miljømæssige forestillinger: 2/5

8. Udendørs strukturer

Tanken om at bruge vinger som komponenter til at designe udendørsfaciliteter, især i forhold til landbruget er, at det ud over at være vejrbestandigt, skal kunne holde til det slid, som dyrene udsætter dem for. Samtidig skal f.eks. hytter være rengøringsvenlige og flytbare, så dyr og hytter kan flyttes fra en mark til en anden, eller det hele skal fjernes, så der kan arbejdes med jorden.

8.1 Beskrivelse

Et eksempel på en større konstruktion kan ses på Figur 19, hvor strukturen er en 17,8 x 17,3 meter stor flade (300 m²) sammensat af 9 vinger. Bagkanten, som er venstre side, er monteret på en lige bjælke 2 meter over jorden. Forkanten er hævet 2,5 meter i det ene hjørne, hvilket betyder, at det andet hjørne i forkanten bliver hævet 2,9 meter. Med andre ord er det muligt at lave store konstruktioner, uden at det kræver uoverskuelig tilpasning af de øvrige elementer i konstruktionen, hvilket i dette tilfælde vil være væggenes afslutning op imod taget.



FIGUR 19
VINGER PARRET OP OG SAMLET SIDE OM SIDE TIL DANNELSE AF EN 310M² TAGFLADE

8.2 Økonomisk analyse

Dette afsnit forsøger at vurdere de økonomiske konsekvenser af dette design. Den funktionelle enhed af et overfladeareal på 310 m² af en tagkonstruktion uden bærebjælker vælges.

På grund af store usikkerheder i forhold til flere omkostningsparametre er det blevet valgt at arbejde med værdiintervaller og køre en Monte Carlo simulering baseret på 50.000 kørsler. Tabel 17 viser de parametre, der anvendes til det økonomiske skøn. Tabel 18 viser resultaterne af det økonomiske skøn over 5 år.

Analysen viser, at konstruktionen er rentabel. Fremstillingsomkostningerne ser ud til at dominere de samlede omkostninger i fordelingen. Derfor bør dette design undersøges nærmere, og det er vigtigt at finde økonomisk rentable procedurer vedrørende bearbejdning, montering og installation af vingerne.

TABEL 17
LISTE OVER PARAMETRE

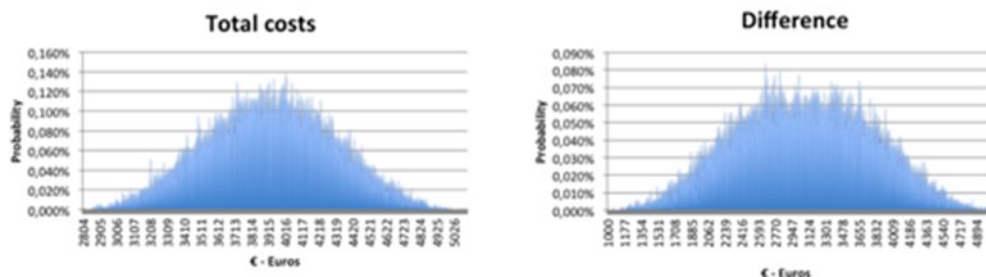
Name	Description	Unit	Interval/Value
iProcurement	Number of blades required	Integer	9
iTransptDist	Transport distance	km	[50;150]
iSubsidy	Subsidy for collection of <i>EoL</i> rotor blades	DKK/blade	[746;1492] ¹
iTransptCost	Cost of transport	DKK/ton	[895;1193] ²
iProcess	Processing of the blade	DKK/blade	[1119;1865] ³
iInstall	Installation of the blade	DKK/blade	[1492;1865] ⁴
iAdmin	Administration costs	DKK/roof structure	[1119;1492] ⁵
iMaintenance	Maintenance costs	DKK/year	746
iPrice	Sale price	DKK /roof structure	[47766 ;59688] ⁶

¹Estimate based on the average collection subsidy amount Barsmark receives from Vestas when collecting blades production waste. ²Parameter based on IF Nedbrydning's estimates (demolition/recycling company), using average transportation means. ³Estimate. ⁴Based on estimates sourced from the Internet, regarding roof structures installation. ⁵Based on Barsmark's average total labor costs of DKK 300/h. ⁶Estimate.

TABEL 18
MONTE CARLO ANALYSERESULTATER

	Unit	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Procurement	DKK	-8 461				
Transport	DKK	7 894				
Processing	DKK	28 546				
Administration	DKK	1 306				
Maintenance	DKK		757,2 ¹	768,6 ¹	780,1 ¹	791,8 ¹
Total costs	DKK	29 292				
Sale price	DKK	52 205				
Difference	DKK	22 913				

¹Theoretical 1,5% inflation rate applied. Maintenance costs supported by a third party (structure owner).



(a) Total costs probability distribution. 68% confidence interval DKK [21 511 ;32 075].

(b) Difference probability distribution. 68% confidence interval DKK [17 787 ;28 046].

FIGUR 20
MONTE CARLO RESULTATER

8.3 Miljøanalyse

En Life Cycle Assessment screening er udført på konstruktionen. Miljøbelastningen er vurderet i form af primært energiforbrug og udledningen af drivhusgasser med et vugge-til-brug omfang af analysen.

Tabel 19 viser resultaterne for Cradle-to-use livscyklusvurderingen af tagkonstruktionen med et areal på 310m² uden understøttende bjælker, valgt som funktionel enhed.

Tabel 19 viser, at for at opnå det samme funktionelle formål, kan der ved hjælp af vinger opnås en betydelig reduktion af miljøbelastningen. Materialet menes, at være fornuftigt til anvendelsen og

let kunne erstatte en tilsvarende aluminiumsstruktur. Denne analyse antager en bærende konstruktion fremstillet i aluminium. Alligevel kan man nemt forestille sig andre materialer med lavere miljøpåvirkning som f.eks. glasfiber eller træ.

TABEL 19
CRADLE-TO-USE LIVSCYKLUSVURDERING RESULTATER

Operation	Quantity	CO ₂ eq. ¹	Primary energy demand ²
Procurement	9 polyester-reinforced glass fiber blades	0kg ³	0MJ ³
Procurement (others)	Supporting aluminium beams, bolts, etc	610kg	8660MJ
Transport (road)	788tkm	84kg	1 450MJ
Cutting (sawing)	64 800s	99kg	2 520MJ
Installation (digging)	3m ³	9,8kg	180MJ
Maintenance (incl. painting)	9 blades, 4 beams, over 5 years	180kg	5 250MJ
Displaced production	1,3t aluminium roof panels	-7 700kg ⁴	-93 400MJ ⁴
Total		-6 717kg	-75 340MJ

TABLE 19 – Cradle-to-use Life Cycle Impact Assessment results.

¹Characterization model provided by the IPCC GWP_{100a}. ²Developed by Ecolinvent and expanded by Pré Consultants. ³None emissions is linked to the procurement of blades as their existence is primarily linked to wind power generation, not to open net fish pen applications. Hence, should the net fish pen application be non-existent, the blades would still be produced, and their consequent environmental burden witnessed. ⁴Emissions otherwise emitted by producing the aluminium floating structure.

8.3.1 Begrænsninger

Tilsvarende produkter på markedet - de mindre er hovedsagelig fremstillet af PVC - er særdeles konkurrencedygtige med hensyn til pris og vægt. Dette kan hæmme den kommercielle udvikling af ovennævnte design. Yderligere markedsundersøgelser skal gennemføres for at evaluere den potentielle efterspørgsel.

8.3.2 Fordele

Glasfiber forstærket umættet polyester er vejr og organisk resistent, relativt let og bidrager til høj styrke i konstruktionen.

Økonomiske resultater: 1/5 - Miljømæssige forestillinger: 5/5

Referencer

Vestas. (1995). Variabel Slip Vindmølle - V44-600kW. Vestas.

Brøndsted, P., Lilholt, B., & Lystrup. (2005). Composite material for wind power turbine blades. Annual Review of Materials Research.

RecyBlade

Formålet med RecyBlade projektet var at undersøge mulighederne for at opbygge et koncept for genanvendelse af vingekonstruktioner til nye byggematerialer og konstruktionselementer.

Vanskeligheder med at få adgang til de nødvendige tekniske oplysninger om vingerne, gjorde at det ikke var muligt at gennemføre alle planlagte faser i projektet.

Af rapporteringen af de gennemførte faser beskriver den viden, der er opnået via den del af projekter, der er gennemført.



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Strandgade 29
1401 København K
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

www.mst.dk