



Genavendelse af vindmøllevinger kræver en holistisk tilgang

Beauson, Justine; Mikkelsen, Lars Pilgaard; Abrahamsen, Asger Bech; Jr., Leon Mishnaevsky

Publication date:
2022

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Beauson, J., Mikkelsen, L. P., Abrahamsen, A. B., & Jr., L. M. (2022). Genavendelse af vindmøllevinger kræver en holistisk tilgang. Ingeniøren.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

I dette holdningsstof udtrykker forfatteren sin personlige holdning om emnet.

SYNSPUNKT

Genanvendelse af vindmøllevinger kræver en holistisk tilgang

Vindmøller 15. november 2022 kl. 05:00



Mange virksomheder har udviklet løsninger til genbrug og genanvendelse af vindmøller, men der mangler stadig en solid, ensartet metode, skriver forskere fra DTU i dette synspunkt. Illustration: P&J Windpower.



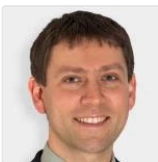
Justine Beauson

Ph.d., DTU Wind



Lars Pilgaard Mikkelsen

Lektor, DTU Wind



Asger Bech Abrahamsen

Seniorforsker, [DTU Wind](#)



Leon Mishnaevsky Jr.

Seniorforsker, [DTU Wind](#)

Artiklen er ældre end 30 dage

Genanvendelse af fiberforstærket plast og vindmøllevinger er blevet undersøgt [i årtier](#), men er fortsat en udfordring. For nylig viste billeder i USA hundredvis af sektioner af udtjente vindmøllevinger blive begravet på en losseplads og dækket med jord.

Som en vedvarende energikilde forventes det, at vindmøller og vindmølleparker er genanvendelige. Selvom dette i øjeblikket er muligt for de fleste komponenter i en vindmølle, er det stadig svært for selve vingerne, som oftest ender i deponi.

Omkring 85 procent af massen af en vindmølle (eksklusive fundamentet) er lavet af metalliske materialer, for hvilke der findes pålidelige genbrugsløsninger. De resterende 15 procent inkluderer vindmøllevinger, som hovedsageligt er lavet af fiberforstærket plast.

I 2025 forventes der i Europa 143.000 tons vindmøllevinge-affald

I løbet af samme år forventes det, at 3.220 tons vindmøllevinger vil blive taget ned i Danmark. Disse tal blev offentliggjort i en [videnskabelig undersøgelse](#) i 2020.

At forudsige mængden af vingeaffald i de kommende år er afgørende for at planlægge genbrugsløsninger. Dette er dog ikke en simpel opgave.

For at forudsige den fremtidige mængde af vingeaffald kræver det, at man kender antallet af vindmøller 1) aktuelt installeret, 2) der skal installeres i fremtiden, 3) massen af vinger per vindmølle, 4) vindmøllens levetid.

Den mest udfordrende parameter at forudsige er vindmøllens levetid. Vindmøller kan have meget forskellig levetid. Afhængigt af lovgivningen, elprisen og møllens skadestilstand, kan en vindmøllejejer overveje at holde møllen i drift længst muligt eller at udskifte vindmøllerne med nyere møller.

I den nuværende forudsigelse af fremtidigt affald er det alderen ved dekommissionering, der betragtes som vindmøllens levetid. Alderen ved dekommissionering svarer dog ikke nødvendigvis til det tidspunkt, hvor vindmøllevinger bliver til affald og har brug for en end-of-life-løsning.

Efter nedtagning kan nogle vindmøllevinger beholdes som reservedele, mens andre sælges sammen med resten af møllen. Denne usikkerhed tages generelt ikke med i vurderingen af fremtidigt vingeaffald.

Derfor er det svært at forudsige og garantere mængden af affald til genbrugsindustrien. For at en genbrugsvirksomhed skal have succes, skal kilden til indgående affaldsmateriale være forudsigelig (i volumen og materialesammensætning) relativt konstant og konkurrencedygtig i forhold til omkostninger.

Ifølge DTU's erfaring kræver genbrugsindustrier mindst et par tusinde tons materiale hvert år (3.000 til 10.000 tons) for at kunne

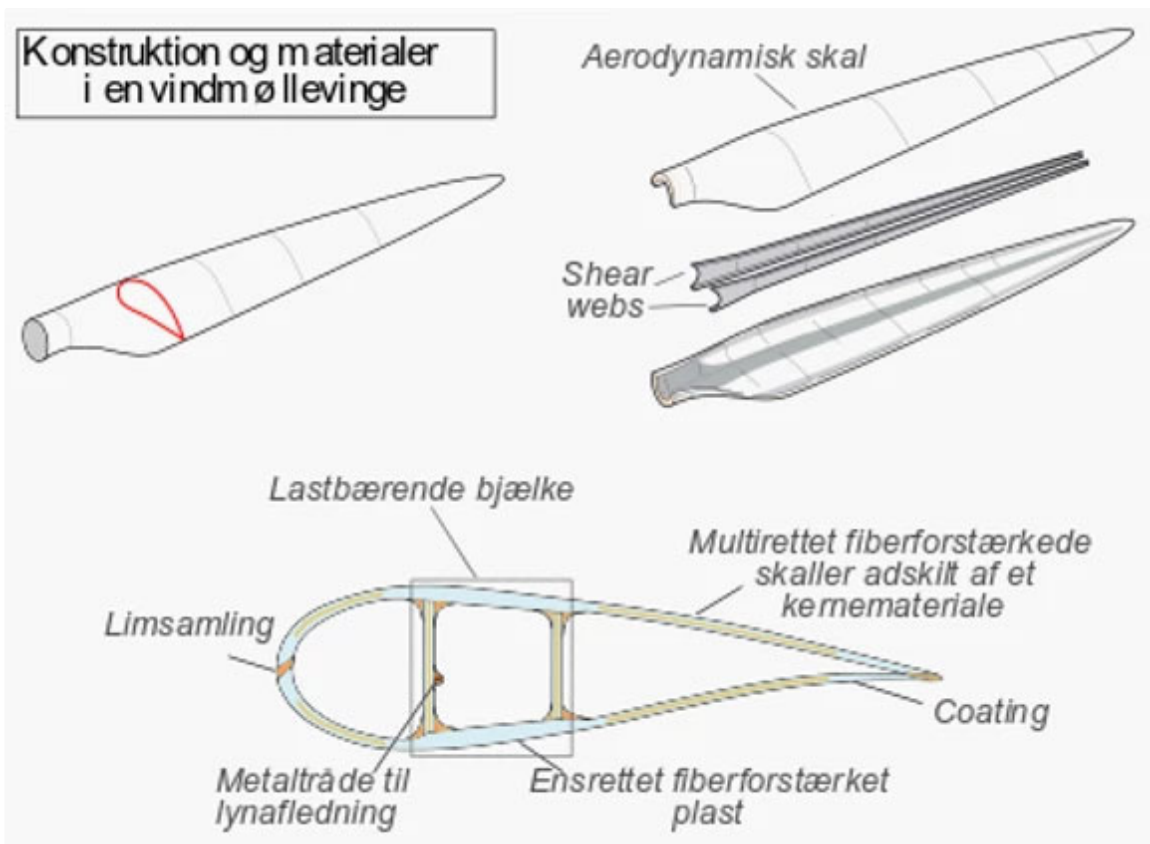
være interesserede i at bruge end-of-life vindmøllevinge-affald som en ressource,.

End-of-life-vindmøllevinger er komplekse strukturer

Samlet set er designet og strukturen af alle vindmøllevinger næsten den samme og kan opsummeres som en hul struktur lavet af to aerodynamiske skaller og en lastbærende bjælke. Figuren viser detaljerne for disse forskellige dele og de materialer, de er lavet af.

De forskellige fiberforstærkede plasttyper i en vindmøllevinge er kombineret til en enkelt komponent, som ikke let kan adskilles. Derudover er vinger, produceret for 25 år siden, generelt mindre end dem der produceres i dag.

For eksempel blev Vindeby Havmøllepark installeret i 1991 og nedlagt i 2017 efter 26 års levetid. Vindmøllevingerne havde her en længde på 17 meter. I 2022 er den længste producerede vinge [115 meter](#). De længste vinger, der produceres i dag, bruger også kulfibre som forstærkning, hvorimod de ældste vinger hovedsageligt er forstærket med glasfibre.



Struktur og materialer af en vindmøllevinge. En vindmøllevinge er en komponent i ét stykke, som ikke let kan adskilles. Vingerne er en hul konstruktion bestående af to aerodynamiske skaller og en lastbærende bjælke. Disse forskellige dele har forskellige formål og er derfor lavet af forskellige kompositmaterialer. De aerodynamiske skaller, lette og stive, er beregnet til at opretholde vingens aerodynamiske profil. Disse er lavet af to tynde glasfiberforstærket laminater adskilt af et kernemateriale lavet af balsatræ, Polyetylentereftalat (PET) eller Polyvinylchlorid (PVC)-skum. Bjælken er lang og slank og kræver materialer med høj stivhed for at modstå trykket fra vinden under vindmøllens levetid. Bjælkens stivhed er tilvejebragt af en kombination af ensrettede fiberforstærkede tykke laminater, som er holdt adskilt med paneler kaldet 'shear webs'. Fiberforstærkningen kan bestå af glasfibre, kulfibre eller en kombination af begge. Plastmaterialet er for eksempel epoxy, polyester eller vinylester. Nogle vinger kan fremstilles som ét stykke, mens andre vinger vil blive samlet ved hjælp af limsamlinger, bestående af epoxy, vinylester, polyurethan, methylnmethacrylat. Disse limsamlinger kan ikke let frigøres, og vindmøllevinger kan betragtes som et komponent i ét stykke. Vingernes overflade er belagt for at beskytte dem mod erosion fra regn, sne og hagl samt UV stråling fra solen. Denne belægning er lavet af epoxy, polyester, polyurethan eller akrylat. Vingerne er også beskyttet mod lyn ved hjælp af metaltråde, der er indlejret i komposit-laminaterne eller inde i strukturen. Disse er typisk lavet af aluminium eller kobber. Illustration: Justine Beauson.

Hvert år vil strømmen af materiale, der kommer fra udtjente vindmøllevinger, bestå af vinger med forskellig længde fra 10-115 meter, forskellige materialer og forskellige skadestilstande. Fra et genanvendelses-synspunkt er dette en udfordring.

For at løse udfordringen vil tilgængeligheden af flere forskellige end-of-life-løsninger være en fordel, så genbrugsindustrien kan

tilpasse sig til affaldets mangfoldighed.

Genbrugsløsninger findes til vindmøllevinger

Ordet genbrug er et generisk ord, som ofte bruges til at beskrive en lang række forskellige processer. Ifølge det europæiske affaldshåndteringshierarki er der fem muligheder for behandling af affald, som er rangeret fra foretrukket til mindst ønsket: forebyggelse, genbrug, genanvendelse, nyttiggørelse og deponering.

Forebyggelse af affald er en løsning, som har til formål at forhindre generering af affald fra produkt ved at planlægge end-of-life allerede underdesignfasen. Denne løsning kan derfor ikke bruges på allerede produceret vindmøllevinger.

Med hensyn til deponering har nogle lande formuleret deponeringsforbud for fiberforstærket plastmaterialer og vindmøllevinger (Tyskland og Holland). I Danmark er deponering af [vindmøllevinger muligt](#). Nogle vindmølleejere har dog meddelt, at de ikke vil overveje deponering som en mulighed, og industrisammenslutningen [WindEurope](#) opfordrer til et selvpålagt deponeringsforbud mod vindmøllevinger fra 2025.

Når deponering ikke er ønskeligt, bør den næste foretrukne løsning være genbrug. Genbrug af vinger i så lang tid som muligt vil undgå produktion af nye vinger og mindske miljøbelastningen herved.

En række virksomheder udfører i øjeblikket genbrug af vindmøller. Det kan dog være dyrt at bruge en stor kran for en nænsom nedtagning, og denne mulighed kan blive vanskelig for udtjente vindmøller, som er lige så høje som Eiffeltårnet. I nogle tilfælde kan det ud fra et økonomisk synspunkt være mere interessant at vælte vindmøllen for derefter at indsamle materialerne.

Når vinger ikke kan genbruges længere, eller hvis genbrug ikke var muligt i første omgang, så er den næste foretrukne mulighed at genbruge materialerne i vingerne.

For vindmøllevinger er denne kategori opdelt i to muligheder. Først 'repurpose', derefter genanvendelse. Begge muligheder forvandler vindmøllevinger til nye materialer, den største forskel ligger i dimensionen af de genvundne materialer.

Den første mulighed involverer skæreprocesser og sigter mod at genbruge store dele af vinger til nye konstruktioner. Det kan være [cykelskure](#), legepladser eller gangbroer.

For nylig er et sådant genbrug af vinger i Europa blevet demonstreret i [Storbritannien](#), Danmark, [Holland](#), [Irland](#) og [Polen](#). Denne type løsning er baseret på en skræddersyet brug af vingegeometrien.

Det kan være vanskeligt at komme med én løsning i brugen af vindmøllevinger i gangbroer, når vingernes længde kan variere fra få meter til en længde på 115 meter.

Fordelen ved denne løsning derimod er, at den kun kræver lidt oparbejdning, hvilket vil begrænse omkostningerne ved processen. Denne løsning udnytter typisk de mekaniske egenskaberne af de fiberforstærket plastmaterialer, der findes i vingerne.

Når cykelskuret når sin end-of-life, eller hvis repurpose af vinger ikke er muligt, kan sektioner af dem bearbejdes yderligere for derved at reducere størrelsen og muliggør en adskillelse af fiberforstærkningen fra plastmaterialet.

Dette gøres med nedknusningsprocesser for derved at reducere størrelsen af vingesektionen ned til granulat lignende materialer. Nedknust vingematerialer kan bruges til fyld i [lydisoleringspaneler](#) eller som fyldmateriale i forskellige anvendelser, såsom [fliser](#) og beton.

For at adskille fibrene fra plasten kan der anvendes termiske eller kemiske processer. Disse processer involverer en høj temperatur > 450 oC eller en kombination af temperatur > 200 oC, tryk > 200 bar og et opløsningsmiddel.

Desværre er genbrugsglasfibre korte, tilfældigt orienterede og beskadigede, hvilket gør, at deres oprindelige egenskaber er reducerede. I betragtning af, at prisen på nye glasfibre er ret lav (2,5 euro/kg) og at energien, der kræves til genbrugsprocesserne kan være dyr, har det været svært at kommercialisere genbrugte glasfibre.

Den sidste løsning før den uønskede deponering er en genanvendelse i cementproduktionen. Denne løsning bruger plasten som energikilde og glasfibrene som fyldstof under fremstilling af cementen, og var for nyligt den foretrukne i Europa.

En cementproduktion, der havde en kapacitet til at behandle 15.000 tons glasfiberforstærket plast-affald årligt, hvoraf [10.000 tons](#) kom fra vinger. I 2022 lukkede den dog af økonomiske årsager.

Der er behov for en holistisk tilgang

Med alle disse udfordringer kan man spørge, hvordan man udvikler pålidelige genbrugsløsninger til vindmøllevinger?

Genanvendelse af vindmøllevinger kunne skubbes fra den lovgivningsmæssige side med forbud mod lossepladser eller høje omkostninger på lossepladser for at stimulere oprettelsen af genbrugsvirksomheder. I dag koster deponi af vindmøllevinger på en losseplads i Danmark cirka 1000 kroner per ton. Dette var også nogenlunde omkostningerne ved genvindingsmuligheden i [cementovnen](#).

Genanvendelse af vindmøllevinger kan også være et krav før installation af vindmøller. I Frankrig har det siden 2022 været et krav at demonstrere, at 35 procent af vingerne kan blive genbrugt eller genanvendt, inden at installation kan godkendes. Fra 2025 øges dette til 55 procent. Som følge heraf har vindmølleproducenter forsøgt at producere vindmøller med genanvendelig vinger.

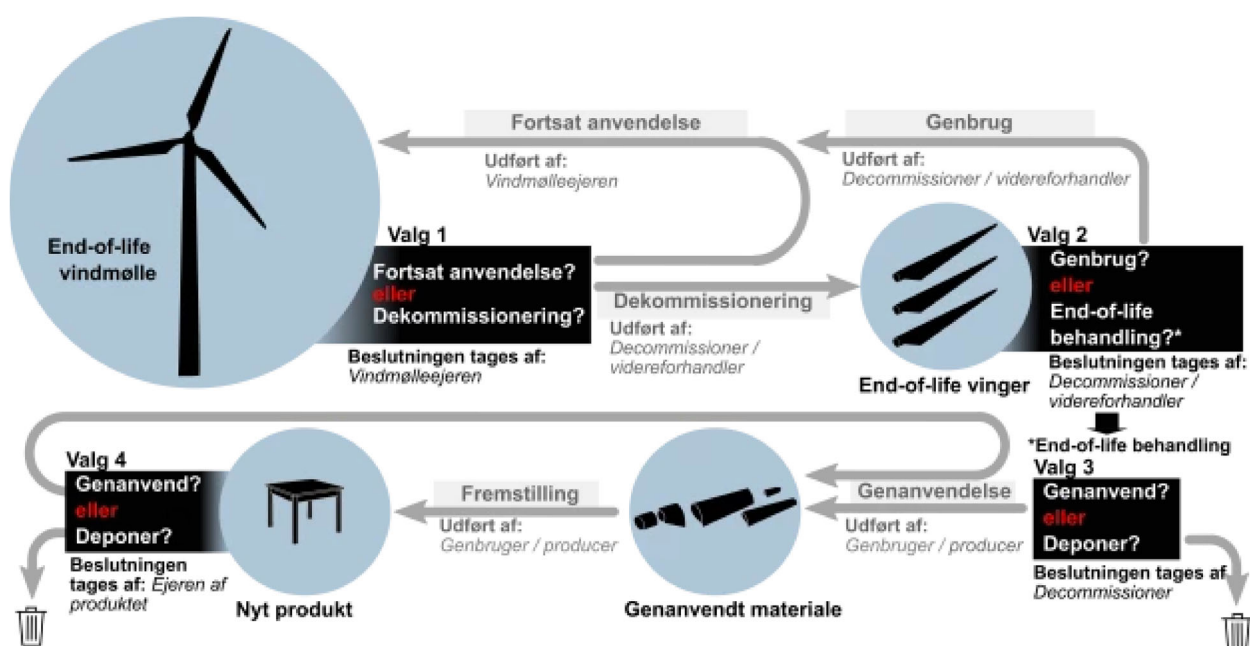
I 2021 annoncerede Siemens Gamesa Renewable Energy produktionen af nye genanvendelige vinger. Der er flere [andre virksomheder](#), der også [kigger på det](#). Produktionen af fremtidige genanvendelige vindmøllevinger hjælper dog ikke med at genanvende eksisterende vinger, der når deres udløbsdato i de kommende år.

I betragtning af mangfoldigheden af udfordringer, der er anført i denne artikel, ville en holistisk tilgang til vindmøllernes end-of-life være fordelagtig. Værdikæden af vindmøllevinger er sammensat af mange interessenter, beslutninger og processer.

Figur 3 viser et forenklet billede af denne værdikæde. Figuren viser, at genanvendelse finder sted i slutningen af værdikæden og vil blive påvirket af beslutninger taget opstrøms. For eksempel vil beslutninger om at genbruge vindmøller forsinke tilgængeligheden af vinger til genanvendelse.

En holistisk tilgang tager hensyn til genbrugskravene så tidligt som muligt i vingenens livscyklus. Det kan realiseres ved for eksempel at kommunikere og koordinere interessen hos de vigtigste interessenter i værdikæden, harmonisere praksis og overføre vigtig information om vingerne for at understøtte genanvendelsen.

For at understøtte en holistisk tilgang er der behov for en bedre estimering af vindmøllevinge-affaldsmængden. At kunne spore vingerne for at kende deres placering, og deres sammensætning ville understøtte etableringen af en solid genbrugsindustri.



Skematisk repræsentation af end-of-life-værdikæden af vindmøllevinger. »Værdikæden består af 5 interessenter, 5 processer og 4 beslutninger. De grå pile repræsenterer processer og beslutningerne er vist i sorte bokse. End-of-life værdikæden starter med vindmøllevingerne og slutter med produkter fremstillet med materialer, der er genanvendt fra vingerne. (...) Værdikæden kan fastlægges forskelligt afhængigt af egenskaberne ved den vindmøllevinge, der passerer gennem værdikæden. Afhængigt af interessenternes ønsker og materialernes egenskaber kan en proces vælges frem for en anden, og måden processen udføres på kan justeres. Da genbrug er placeret tæt på slutningen af den udtjente værdikæde, bliver genbrugsaktiviteterne påvirket af de beslutninger, der tages opstrøms." Illustration: Justine Beauson.

Vil du bidrage til debatten med et synspunkt? Så skriv til vores PRO debatredaktion på pro-sekretariat@ing.dk

