NORSUS
Norsk institutt for bærekraftsforskning

Vindkraft i et sirkulærøkonomisk perspektiv: Pre-FoU prosjekt for å klarlegge forskningsbehov og -muligheter

FORFATTERE
MATHIAS RØED HANSSEN, TOBIAS BJERKOMP, OLE JØRGEN HANSSEN

RAPPORTNUMMER
OR 44.20

ÅRSTALL
2020

ISBN NR.
978-82-7520-845-1

ISSN NR.
2535-812X

RAPPORTTYPE
Oppdragsrapport

TILGJENGELIGHET
Åpen

NORSUS

PROSJEKTNUMMER
2081

PROSJEKTNAVN
Vindkraft i et sirkulærøkonomisk perspektiv: Pre-FoU prosjekt for å klarlegge forskningsbehov og -muligheter

OPPDRAGSGIVER
Zephyr AS

KVALITETSSIKRER
Hanne Lerche Raadal

ANTALL SIDER
35

EMNEORD
Vindkraft, Sirkulærøkonomi, Gjenvinning, Bærekraft, Forskningsbehov

BILDE FORSIDE
https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=457

Sammendrag

Denne rapporten omhandler gjenvinning av vindturbiner, med fokus på dagens og fremtidig praksis. Analysen skal klarlegge i hvilken grad gjenvinning av vindturbiner er en prioritet blant vindkraftprodusenter, og om de har konkrete løsninger for avhending av avfall fra vindturbiner etter endt konsesjon. Videre skal utfordringer ved gjenvinning av vindturbiner identifiseres med hensyn på økonomi og retningslinjer/lovverk.

Vindkraftanlegg representerer en materialressurs som bør ivaretas gjennom hele anleggets levetid, både i etablerings-, drifts- og nedbyggingsfasen, der den siste fasen er den viktigste. Per i dag finnes det ikke systematiske oversikter over hvor ofte ulike komponenter må byttes ut gjennom driftsfasen, hvordan de blir ivaretatt og behandlet, og hvor omfattende utskiftingen er.

De største materialmengdene oppstår etter endt levetid av vindturbinene, når de skal tas ned og dekomponeres. Stål og andre metaller lar seg granske greit resirkulere og bruke på nytt inn i nye produkter, mens dette i langt mindre grad er tilfelle for betongfundamentet og for kompositttmaterialer i vindturbinblader.

Vindturbinbladene representerer som vist i denne studien den største utfordringen materialmessig mht. ombruk og materialgjenvinning. Her finnes det løsninger i dag som i all hovedsak ligger i den nederste delen av avfallspyramiden (deponi, forbrenning), men det er et mulig potensial for å ta i bruk plastmaterialet i nye produkter og i visse sammenhenger få til ombruk av hele eller deler av turbinbladene. Dette er områder det blir forsket på flere steder i Europa i dag, og som det kan være interessant å koble seg på gjennom et eget norsk FoU-prosjekt på området.

Prosjektet er finansiert av egne midler i NORSUS og RFF Viken.

Innholdsfortegnelse

Sammendrag i
1 Innledning 1
1.1 Bakgrunn 1
1.2 Status for vindkraft i Norge 1
1.1 Status for vindkraft i Europa 1
1.2 Problemstillinger ved utviklingen av vindkraft 2
1.3 Gjenvinning av vindturbinblader i et sirkulærøkonomisk perspektiv 3
2 Metoder og datagrunnlag 4
3 Kunnskapsgrunnlag – resultater fra litteraturstudiet 5
3.1 Gjenvinning av komponenter og materialer fra vindturbiner 5
3.2 Hva er fiberarmert kompositt? 5
3.3 Estimert mengde fremtidig avfall fra fiberarmerte kompositter 6
3.4 Behov for tverrfaglig samarbeid 6
3.5 Utfordringer og muligheter ved behandling av kompositttavfall 7
3.6 Løsninger for demontering og nedbygging av vindturbiner 7
3.7 Alternative løsninger for å redusere og forebygge kompositttavfall 8
3.7.1 Alternativ materialbruk som kan øke gjenvinningsgraden av vindturbinblader 8
3.7.2 Forlenget levetid 9
3.7.3 Forlenget levetid gjennom ombruk i nye vindkraftanlegg 9
3.8 Gjenbruk og behandling av kompositttavfall 9
3.8.1 Gjenbruk i nye anvendelser 9
3.8.2 Pyrolyse 10
3.8.3 Mekanisk gjenvinning 10
3.8.4 Co-prosessering 10
3.8.5 Deponering 10
3.8.6 Status for teknologiutvikling for de ulike løsningene 11
4 Resultater fra spørreundersøkelsen 12
4.1 Drift og vedlikehold 12
4.2 Sluttfase/demontering av anlegget 12
4.3 Økonomi 14
4.4 Retningslinjer og regler for nedbygging av vindkraft 14
4.5 FoU-behov 14
4.6 Endring over tid 15
5 Resultater fra workshop med plasteksperter 16
5.1 Kompositttsviller til jernbanespor 16
5.2 Gjenvunnet kompositttavfall som kjernemateriale i båtskrog 16

5.3 Gjenvunnet kompositttavfall som akustisk material 17
5.4 Gjenvunnet kompositttavfall som tilsats i mørtel av epoxy eller polyester 17
5.5 Solid surface 17
5.6 Glassfiber som mulig råvare 17
5.7 Tankproduksjon 18
5.8 Sheet Moulding Compound (SMC) 18
6 Diskusjon og oppsummering FoU-behov og -muligheter 19
7 Referanser 22
Vedlegg 1 24

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I løpet av de siste tiårene har det vært økende fokus på global oppvarming, og dette har ført til utforming av mål som skal sikre en bærekraftig og miljøvennlig ressursbruk. En forutsetning for å oppnå målene er å erstatte fossile energikilder med fornybare energikilder som vann- og vindkraft. Parallelt er det de siste årene blitt langt større fokus på sirkulærøkonomi og ressurseffektivitet, der særlig EU har gått foran med sine sirkulærøkonomiske programmer fra 2015 og den siste Green Deal-pakken fra mars 2020 (inn med refs). Her er det stort fokus på resirkulering og ombruk av komponenter og materialer, for eksempel gjennom mer aktiv bruk av økodesign i utvikling av nye produkter og teknologier. Det har den senere tid også vært fokus i media på mulige problemer knyttet til forurensning fra mikroplast fra vindturbinblader, noe som illustrerer at problematikken er mangfoldig og at det er behov for et godt og bredt kunnskapsgrunnlag for å kunne delta i diskusjonene.

I Norge har det blåst friskt rundt vindkraftutbygging den siste tiden, med økt motstand mot utbygging fra lokale interessenter i flere områder. Dette har ført til at kravene til utredning og prosess rundt behandling av konsesjoner blir skjerpet, og som del av dette kan det forventes at krav til forsvarlig utnyttelse av ressursene etter at vindkraftanleggene har oppfylt sin funksjon, også vil bli skjerpet fremover.

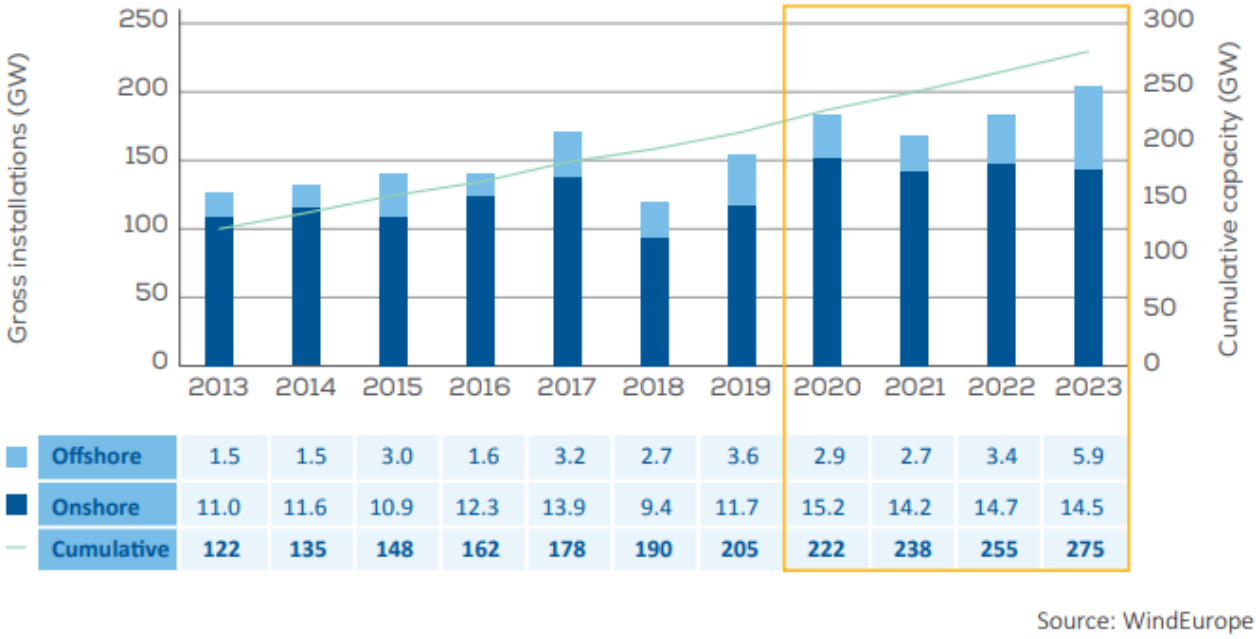
1.2 Status for vindkraft i Norge

I Norge genereres om lag 98% av elektrisiteten fra fornybare energikilder, med størst bidrag fra vannkraft. Men i løpet av de siste ti årene har det skjedd en stor utvikling innen vindkraft som i dag genererer elektrisitet som kan forsyne 120 000 husstander med strøm per år (Regjeringen, 2014). Total mengde generert elektrisitet i Norge i 2013 var 134 TWh, og vindkraft utgjorde litt over én prosent av dette. I løpet av 2019 økte vindkraftproduksjon ytterligere, og bidro med 5,5 TWh, som utgjør over fire prosent av total strømproduksjon. Det ble generert 43% mer elektrisitet fra vindkraft i 2019 sammenliknet med 2018, og prognoser tilsier at utviklingen vil fortsette i årene som kommer som følge av store investeringer i ny kapasitet. I 2019 stod fem nye vindkraftanlegg klare til produksjon, og utgjorde sammen med øvrige anlegg en samlet installert effekt på 2,4 GW (Øvrebø, 2020).

I 2019 presenterte Norges vassdrags- og energidirektorat en nasjonal ramme for vindkraftutbygging i Norge, på oppdrag fra Olje- og energidepartementet. Rammen inneholdt en oversikt over 13 aktuelle områder for vindkraftutbygging, og hadde til hensikt å senke konfliktnivået mellom vindkraftprodusenter og berørte parter. Resultatet var over 5 000 kritiske høringsinnspill, og rammen ble derfor skrinlagt av regjeringen.

1.1 Status for vindkraft i Europa

Det bygges stadig flere vindkraftanlegg i Europa, og i 2019 dekket elektrisitet fra vindkraft 15% av elektrisitetsforbruket i EU. Som Figur 1 viser, forventes dette tallet å øke de neste årene, som følge av EUs bindende mål om å øke andelen fornybar energi til 32% innen 2030, samtidig som det skal bli karbonnøytralt innen 2050.



Figur 1 Årlige installasjoner i Europa

Vindkraft vil derfor med høy sannsynlighet være en vesentlig del av den fremtidige europeiske energimiksen. Den europeiske kommisjonen påpeker i deres strategi for å bli karbonnøytrale innen 2050 at vindkraft kan utgjøre 50% av EUs elektrisitetsbehov i 2050, som for øvrig vil være vesentlig høyere enn dagens behov, grunnet en omfattende elektrifisering av energibruken i dagens samfunn.

1.2 Problemstillinger ved utviklingen av vindkraft

I perioden mellom 2007 og 2010 økte installert effekt fra vindturbiner fra 94 GW til 197 GW på verdensbasis (Cherrington et al., 2012), og i dag er både on- og offshore vindkraft en viktig strategi for å møte klimautfordringene i mange land. En studie av NORSUS (Silva & Raadal, 2019) som sammenlikner både ikke-fornybare og fornybare energikilder viser at vindkraft og vannkraft, er de teknologiene som gir lavest utslipp av klimagasser. Vindkraft har et gjennomsnittlig utslipp på ca. 14 og 18 g CO_2-ekvivalenter per kWh for henholdsvis landbaserte og offshore vindturbiner, mens vannkraft ligger på et gjennomsnitt rundt 20 g CO_2-ekvivalenter per kWh (med laveste verdier ned mot 1-2 g CO_2-ekvivalenter per kWh). Til sammenlikning re gjennomsnittlig klimagassutslipp fra bølgekraft og solceller henholdsvis 56 og 51 g CO_2-ekvivalenter per kWh (Silva & Raadal, 2019).

Klimagassutslipp fra vindkraft skyldes hovedsakelig produksjon av materialer til komponentene. Nacelle, rotor og tårn bidrar mest til utslipp av klimagasser, og står for om lag 80% av det totale klimagassutslippet (Raadal & Vold, 2012). NORSUS har i en konseptstudie for ENOVA beregnet at det slippes ut ca. 410 tonn CO_2-ekvivalenter, som tilsvarer rundt 10 gram per kWh, fra produksjon og transport av komponenter for en vindturbin med i underkant av én MW installert effekt (Wingstedt et al., 2020). Studien tok utgangspunkt i at vindturbinen bygges på Borg Havn, og genererte elektrisitet til bruk for Borg Havns virksomhet. Studien sammenliknet reduksjon av klimagassutslipp fra elektrisitet fra vindturbinen med innkjøpt elektrisitet (norsk forbruksmiks) ved Borg Havn, og fant ut at Borg Havn kunne redusere klimagassutslippet med 35,8 g/kWh ved bruk av elektrisitet fra vindturbin. Dette tilsvarer en total besparelse på 58 tonn CO_2-ekvivalenter per år.

Vindturbiner inneholder en liten mengde SF_6, og utslipp av denne gassen skal helst ikke forekomme. Derfor er det viktig med rutiner for behandling av turbinene i en vedlikeholds- og nedleggingsfase, for å redusere risikoen for utslipp av SF_6. Dette er inkludert i ovennevnte konseptstudie siden denne gassen er en svært potent klimagass, der selv et lite utslipp vil kunne ha stor effekt på klimaregnskapet til Borg Havn. Resultatene fra analysen viste at utslipp av SF_6 over vindturbinens levetid tilsvarer ca. 3 tonn CO_2-ekvivalenter, noe som utgjør 0,71% av spesifikt klimagassutslipp (0,073 g CO_2-ekvivalenter per kWh) fra vindturbinen. Utslipp av SF_6 over vindturbinens levetid er beregnet til 0,13 kg CO_2-ekvivalenter. Dersom dette utslippet skulle vært stort nok til å utligne besparelsen fra bruk av vindkraft sammenlignet med innkjøpt elektrisitetsmiks, måtte det tilsvart 2,47 kg CO_2-ekvivalenter.

Vindkraft byr på utfordringer ved avfallshåndtering fra vindturbinene når de tas ut av drift. En hovedutfordring er knyttet til manglende løsninger for behandling av kompositttavfall fra vindturbinblader. I løpet av de neste årene vil «første generasjon vindturbiner» generere store mengder kompositttavfall når de tas ut av drift. Det anslås at det vil oppstå i størrelsesorden 380 000 tonn kompositttavfall per år fra 2040, dersom levetiden for nye vindturbiner er lik levetid for dagens vindturbiner (Larsen, 2009).

1.3 Gjenvinning av vindturbinblader i et sirkulærøkonomisk perspektiv

En forutsetning for å oppnå bedre ressursutnyttelse av vindturbinblader er en overgang til sirkulærøkonomi der ressurser ivaretas i et kretsløp så lenge som mulig, og sikrer økonomisk vekst, økt sysselsetting og innovasjon. Dette medfører at avfall bør behandles som ressurser, og at det jobbes kontinuerlig med å å identifisere alternative bruksområder ved endt bruk. Eksempelvis kan metallavfall gjenvinnes og brukes i nye produkter, tungmetaller som bly og sink kan gjenbrukes i ny produksjon, mens matrester kan benyttes som drivstoff i busser. Sirkulærøkonomi er en viktig tilnærming for å nå mål om reduserte utslipp av klimagasser, og EU har derfor iverksatt 54 tiltak gjennom en handlingsplan for sirkulær økonomi, som blant annet består i at EU skal være pådriver for bærekraftig vekst, samt sikre tverrsektorielt samarbeid (Regjeringen, 2019). Foreløpig antas det at rundt 12% av ressursforbruket kan regnes som sirkulært (European Comission, 2020), men det begynner å merkes positive effekter av at rundt 17,5 milliarder euro er investert i sirkulærøkonomiske løsninger og aktiviteter; i 2016 var det 6% økning i arbeidsplasser og om lag 147 milliarder i verdiøkning innen sirkulær økonomi (European Comission, 2019a).

2 Metoder og datagrunnlag

Dette Pre-FoU prosjektet er gjennomført dels gjennom en spørreundersøkelse som ble distribuert til medlemmer i Norwea, dels på en gjennomført litteraturstudie av relevante vitenskapelige og faglige referanser og dels via en idedugnad med plastfaglig ekspertise fra medlemmer i Borg Plast-Net. I tillegg er prosjektet koblet sammen med en masteroppgave på samme tema som ble gjennomført parallelt og som en del av prosjektet (Bjerkomp, 2020).

Spørreundersøkelsen ble gjennomført i nært samarbeid med Norwea, en interesse- og lobbyorganisasjon som jobber for å tilrettelegge for et langsiktig vindkraftmarked i Norge. Norwea var ansvarlig for distribuering av spørreundersøkelsen til medlemmer i Norsk Vindkraftforening, samt kvalitetssikring av spørreundersøkelsen.. I tillegg har Zephyr bistått med innspill på spørsmålene i undersøkelsen, og bidratt til presise formuleringer og korrekt terminologi. Zephyr er blant medlemmene i Norwea, og det var derfor viktig å presisere ovenfor øvrige produsenter at svarene fra undersøkelsen ble behandlet konfidensielt av NORSUS.

Spørsmålene i spørreskjemaet omhandle: drift og vedlikehold, sluttfase, FoU, retningslinjer og føringer for drift av vindturbiner og utvikling. Formålet var å kartlegge planlegging og gjennomføring av demonteringsfasen for vindturbiner, og i hvilken grad dette prioriteres av vindkraftprodusenter i dag. Undersøkelsen var todelt, og inneholdt spesifikke og generelle spørsmål der respondentene først svarte på spesifikke spørsmål til respektive anlegg (de fem viktigste anleggene), og deretter generelle spørsmål uavhengig av anlegg. Undersøkelsen ble utformet i SurveyXact (se Vedlegg 1).

3 Kunnskapsgrunnlag – resultater fra litteraturstudiet

3.1 Gjenvinning av komponenter og materialer fra vindturbiner

Hovedkomponentene i en vindturbin er nacelle, transformator, generator, gir, vindturbinblader, tårn og fundament, som hovedsakelig produseres av materialene stål, aluminium, glass- og karbonfiber, samt betong og armeringsjern i fundamentet. For metallene i komponentene er det utviklet gode tekniske løsninger for gjenvinning og det er derfor en relativt høy andel av disse som går til gjenvinning, som følge av god anvendelighet og dermed relativt høy økonomisk verdi. Det er fortsatt uenighet rundt andelen av vindturbiner som kan gjenvinnes, men flere kilder oppgir at 70-80% av selve vindturbinen kan gjenvinnes, mens infrastrukturen som består av betong og masser til utfylling normalt ikke blir resirkulert (Milanese, 2009).

Tårn og fundament utgjør henholdsvis 23% og 60% av massen, og består hovedsakelig av stål og betong. Det anslås at om lag 90% av tårnets masse kan gjenvinnes (Milanese, 2009). Fundamentet består av betong og armeringsjern som i prinsippet lar seg gjenvinne. Problemet er at vindturbiner ofte er utilgjengelig plassert, og det vil kunne medføre store økonomiske og miljømessige kostnader, i tillegg til logistikkutfordringer å få transportert bort fundamentet for gjenvinning eller bruk av materialene som fyllmasse. Et alternativ til gjenvinning er derfor å la fundamentet bli stående for å kunne redusere mulige miljøpåvirkninger fra vindturbinene etter endt levetid. Gjenvinning av fundament kan representere bruk i veier eller nye fundament.

Komponentene i nacellen utgjør den strømproduserende delen av turbinen, og består blant annet av stål, støpejern, kobber og kompositt. I likhet med tårnet kan 90% av nacellen gjenvinnes som følge av høyt innhold av metaller (Milanese, 2009). Øvrig material deponeres som kompositttavfall.

Rotoren består som regel av tre turbinblader, nav og hub. Huben består hovedsakelig av støpejern, mens navet og bladene består av fiberarmert kompositt. Fiberarmerte kompositter er lette, sterke og lite reaktive, og inngår derfor i en rekke ulike konstruksjoner, som for eksempel luftfartsindustrien (det benyttes 50% kompositt i Boeing 787 Dreamliner).

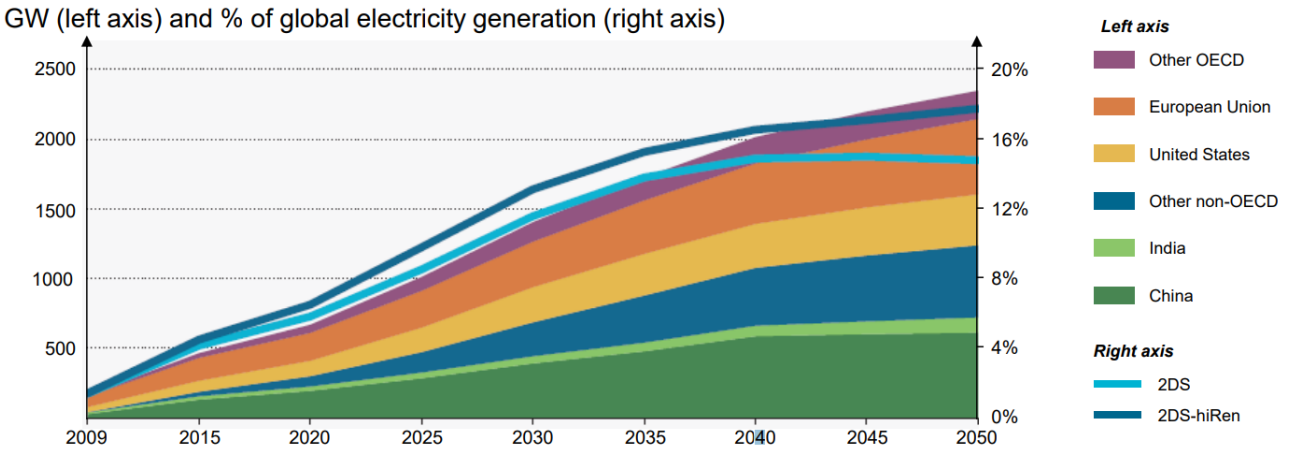
I 2010 produserte Europa én million tonn fiberarmert kompositt, en økning på 25% fra 2009 (Cherrington et al., 2012). Dette har medført økt fokus på problematikken rundt håndtering av kompositttavfall, og resulterte i en stor økning i forskning på gjenvinning av kompositt. Vindkraftindustriens korte historie og tidligere lave produksjonsvolum er grunner til manglende teknologi for håndtering av kompositttavfall fra vindturbiner.

3.2 Hva er fiberarmert kompositt?

Fiberarmert kompositt inneholder en grunnmasse av en homogen plast, kalt matriks, samt fibrer, fiberprodukter, flak og partikler. Det er mest vanlig å benytte herdeplast som polyester, epoksy- og fenolplast, i kombinasjonen med ulike fibertyper, men det er også mulig å benytte termoplaster. Forskjellen på herdeplast og termoplast er at polymeren i herdeplast danner uløselige kryssbindinger som gir den gode egenskaper knyttet til mekanisk styrke og bruddmotstand. De vanligste herdeplasttypene i fiberarmert kompositt er polyester, epoksy- og fenolplast, ofte i kombinasjon med glassfibermaterialer, som for eksempel glassfiberarmert umettet polyesterplast (GUP). Andre typer fibre som brukes i fiberarmert kompositt er basalt, karbon og aramid.

3.3 Estimert mengde fremtidig avfall fra fiberarmerte kompositter

I dag har leverandører og myndigheter lite informasjon om utfordringene som kan oppstå fra kompositttavfall fra vindturbiner i fremtiden. Som nevnt innledningsvis, er det gjort studier på hvor mye avfall som vil genereres fra vindturbinblader i fremtiden. For å estimere avfallsmengden, må man ta utgangspunkt i utviklingen av vindkraftsektoren i årene fremover. International Energy Agency (IEA) har utviklet scenariene 2DS og 2DS-hiRen der den globale middeltemperatur øker med maksimalt 2˚ C (SBC Energy Institute, 2013). Figur 2 viser utviklingen i antall GW installert vindkraft for blant annet EU, USA og Kina, samt prosentandel (høyre akse) av det globale energiforbruket som må dekkes av vindkraft for at 2DS-scenariene skal oppnås. Ved å ta hensyn til at mellom 15%-18% av energien i 2050 må genereres fra vindturbiner som vist i Figur 2, stadig økende turbinstørrelser som følge av utvikling i teknologien, og variasjon mellom geografiske områder, vil kompositttavfall fra vindturbinblader kunne utgjøre 43,4 millioner tonn innen 2050. Deretter regner man med at avfallsstrømmen fra fiberarmert kompositt vil være 2,9 millioner tonn per år fra 2050 (Liu & Barlow, 2017).



Figur 2 2DS-scenarioer for vindkraft

3.4 Behov for tverrfaglig samarbeid

Det er nødvendig å utvikle felles løsninger for behandling av kompositttavfall fra flere ulike sektorer, noe som medfører aktivt samarbeid på tvers av sektorene for å oppnå kostnadseffektive behandlingsmetoder og sterke europeiske verdikjeder. Fiberarmert kompositt fra vindturbinblader vil innen 2025 utgjøre om lag 10% av det totale kompositttavfallet, og det vil derfor ikke være lønnsomt å utvikle avfallsbehandling kun for den andelen som kommer fra vindkraftsektoren (WindEurope, Cefic, & EuCIA, 2020). I 2019 ble det dannet en samarbeidsplattform mellom WindEurope, Cefic og EuCIA, med mål om å skape nye løsninger for gjenvinning av vindturbinblader, som omfatter teknologi, prosesser, logistikk og måter å føre bladene tilbake i verdikjeden som en del av en sirkulær økonomi. Formålet med samarbeidet er å sikre at potensialet ved de eksisterende teknologiene blir fullt utnyttet, samtidig som gjenvinning blir tatt hensyn til allerede ved design av bladene. Arbeidet resulterte i en workshop i 2019 der gjenvinning av vindturbinblader var tema. I 2017 utga WindEurope en rapport om avfallsbehandling av vindturbinblader, og siden dette har flere medlemsland begynt å vurdere innføring av strengere krav til demontering, samt tiltak for å bevare bladene i det sirkulære kretsløpet.

3.5 Utfordringer og muligheter ved behandling av kompositttavfall

De viktigste barrierene mot gjenvinning av fiberarmert kompositt er umoden teknologi og et lite utviklet marked for sluttprodukter. Dersom fremtidig lovgivning medfører krav om gjenvinning av fiberarmert kompositt, er det derfor nødvendig å identifisere nye markedsmuligheter.

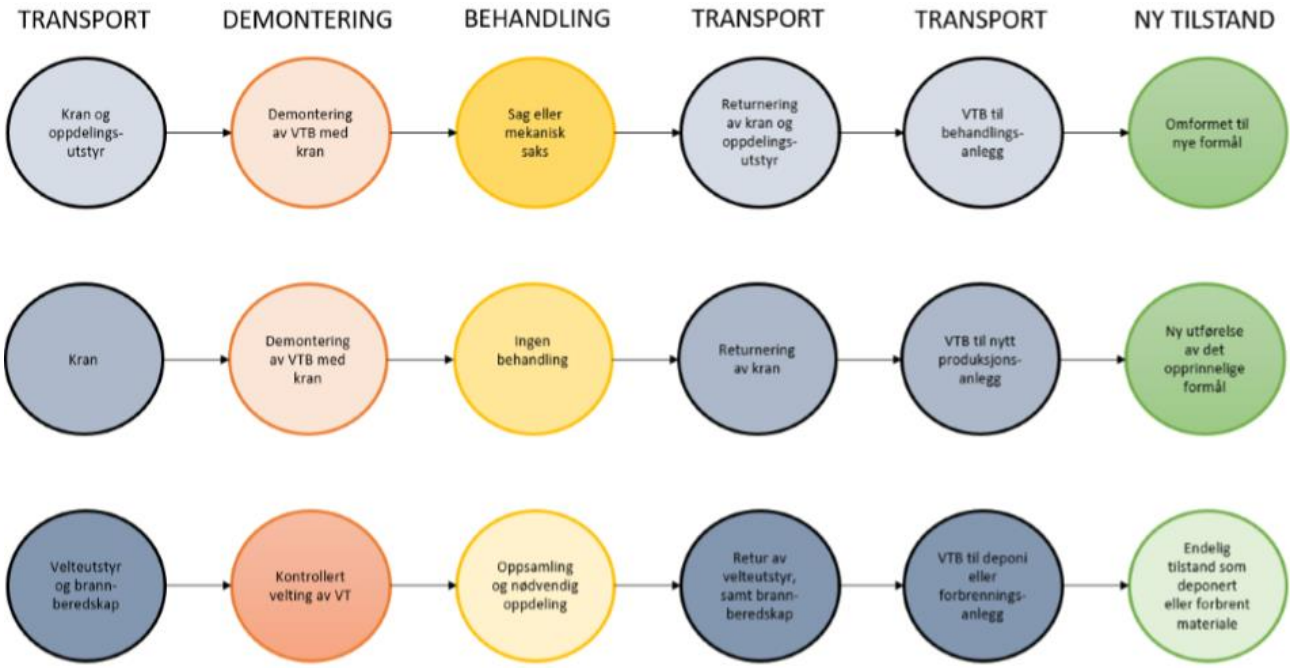
Andre problemstillinger ved innsamling, identifisering, sortering og separering av kompositttavfall fra vindturbinblader er følgende:

- I dag produseres vindturbinblader av herdeplast. Herdeplast inneholder tverrbindinger som ikke kan omformes ved smelting. Polymerkjedene i herdeplast kan i enkelte tilfeller omformes til monomerer, byggesteinene i polymerkjedene, men for de vanligste polymerene som polyester og epoksy er dette en krevende prosess som ikke er praktisk gjennomførbar.
- Kompositter består av to eller flere materialer for eksempel polymerer, fiberarmering som glass- eller karbonfiber, samt fyllstoff for å øke andelen resin eller beskytte mot brann. Andel av materialene i kompositten avhenger av bruksområde, og det foreligger ikke en standard fremgangsmåte for produksjon av kompositt, noe som gjør det utfordrende å finne en løsning som er tilpasset ulike materialsammensetninger.
- Kompositter kan inneholde forurensninger i form av skumplast som reduserer vekt og kostnader, og metall som festeanordning til andre komponenter. Dette medfører utfordringer i gjenvinningsfasen fordi det kompositten må «renses» før den kan gjenvinnes.

3.6 Løsninger for demontering og nedbygging av vindturbiner

Det har blitt foretatt en gjennomgang av dokumenter fra Guleslettene Vindpark, og funn herfra tyder på at det mangler kriterier til nedbyggingsfasen og håndtering av avfall, både for produsent og konsesjonær (Bjerkomp, 2020). Guleslettene Vindpark har i dag ingen konkrete planer for gjenvinning av vindturbinblader, men det er lagt klare føringer i miljø-, transport- og anleggsplanen (MTA). Krav i konsesjonsprosessen sier at avfall skal minimeres og behandles på en sikker og miljøvennlig måte i anleggsfasen. Dette gjelder imidlertid ikke nedleggingsfasen. Prosjektfasen identifiserte mulige utfordringer ved behandling av avfallet dersom det ikke finnes gode løsninger for gjenvinning, i tillegg til nærliggende mottaksanlegg.

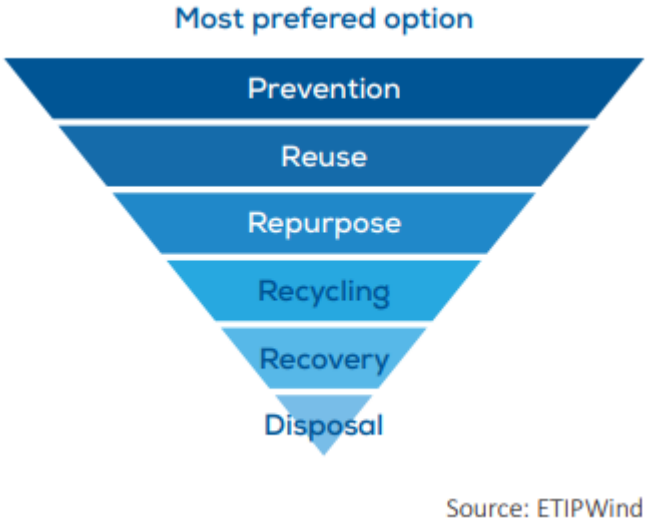
De ulike aktivitetene i avviklingsfasen av en vindturbin er vist i Figur 3. Første ledd i avviklingsfasen av en vindturbin er å transportere nødvendig utstyr til anlegget, for så å demontere turbinen med kran. I Norge er det vanligst å benytte monteringskran som skånsomt og kontrollert demonterer vindturbinen. Monteringskranene er store og kan veie rundt 750 tonn, og de må spesialbestilles som følge av lite behov, men i løpet av de neste ti årene vil behovet kunne øke, og føre til at de er mer tilgjengelige for utlån ved de norske kranselskapene. I tilfeller som konkurs, havari eller annen uforutsett avvikling kan det bli oppnevnt en avviklingsansvarlig som gjennomfører en kontrollert velt av vindturbinen. Kontrollert velt er en vanlig løsning internasjonalt, og i Norge har dette blitt gjennomført på Hundhammerfeltet, etter godkjenning fra NVE. En kontrollert velt er mer risikofylt enn andre nedtakingsmetoder fordi det kan føre til oljesøl, skader på materialer og komponenter som fører til at de blir mindre verdt som gjenvinningsprodukter, samt støtpåkjenning i bakken. Til slutt blir vindturbinen delt med sag eller maskin, avhengig av tilgjengelig transport, og behandlingsløsning for komponenter og materialer i etterkant.



Figur 3 Tre alternative flytskjemaer for avvikling av en vindturbin (Bjerkomp, 2020)

3.7 Alternative løsninger for å redusere og forebygge kompositttavfall

Rammedirektivet for avfall (2008/98/EC) inneholder konsepter relatert til avfallsbehandling, og uttrykker nødvendigheten av økt gjenvinning blant annet som følge av mål om økt ressursutnyttelse og redusert kapasitet ved deponier. Direktivet inneholder et avfallshierarki som vist i Figur 4.



Figur 4 Hierarki for bærekraftig avfallsbehandling

3.7.1 Alternativ materialbruk som kan øke gjenvinningsgraden av vindturbinblader

En mulig strategi for å øke gjenvinningsgraden av fiberarmert kompositt kan være å benytte naturlig fiber. Naturlige fibre finnes i planter, dyr og mineraler, og egner seg godt som fiberarmering i plast grunnet lav kostnad og høy spesifikk styrke, i tillegg til å være biologisk nedbrytbart. Bambus består av 60% cellulose med

en høy andel lignin, og er velegnet som fiberarmering i ulike polymermatriser. Livssyklusanalyse av vindturbinblader bestående av henholdsvis glassfiber og bambus viser for øvrig at bambus oppfyller krav til spesifikasjoner for vindturbinblader (Lijin & Ramachandra, 2016). For å øke gjenvinningsgraden ytterligere er det imidlertid nødvendig å erstatte herdeplasten i vindturbinbladene. Herdeplast er vanskelig å gjenvinne siden den har en fast struktur når den først er produsert, som medfører at den er vanskelig å gjenvinne. I motsetning til herdeplast kan termoplast gjenvinnes når det utsettes for høye temperaturer, som følge av ulike egenskaper ved faseendring. Fiberarmert polypropylen har imidlertid 7-8 ganger lavere styrke enn herdeplast, men ved bruk av alternative termoplaster som polyetherimide (PEI), polyetereterketone (PEEK) eller polyphenylene sulfid (PPS) kan man øke materialstyrken (Vijaya Kumar, Safiulla, & Khaleel Ahmed, 2013).

Gaoth Tec Teo i Irland startet masseproduksjonen av vindturbinblader i termoplast for over ett tiår siden. Bladene brukes i mikroturbiner og er 5 meter eller kortere. Gaoth Tec Teo samarbeider med andre aktører for å utvikle blader til større vindturbiner, noe som pr. dags dato har resultert i vindturbinblader på 12,6 meter i termoplast.

3.7.2 Forlenget levetid

I 2016 var 12% av installerte vindturbiner i Europa eldre enn 15 år, og denne andelen var forventet å øke til 28% i løpet av 2020 (Ziegler, Gonzalez, Rubert, Smolka, & Melero, 2018). Et viktig spørsmål ved livsforlengelse av vindturbiner er om de tilfredsstiller sikkerhetskrav. Eldre turbiner medfører større kostnader knyttet til drift og vedlikehold, samt flere avbrekk i produksjon som følge av feil.

3.7.3 Forlenget levetid gjennom ombruk i nye vindkraftanlegg

I Norge er det kun Zephyr som har erfaring med videresalg av vindturbiner som brukes på nytt i andre vindkraftanlegg. I 2014 solgte Zephyr fem av turbinene i Mehuken Vindkraftverk. Disse var 13 år gamle, og hadde minst 7 år igjen av levetiden. Turbinene var ikke tilpasset vindforholdene på Mehuken, men hadde god nok kvalitet til bruk i områder med mindre vind. Zephyr har for øvrig også solgt vindturbiner fra Lindesnes Vindkraftverk i 2019. I Europa er det flere anlegg som reetableres, og som selger eldre turbiner til ombruk i andre anlegg. Det nederlandske firmaet Windbrokers har solgt over 400 brukte vindturbiner til 20 forskjellige land på samtlige kontinenter (Bjerkomp, 2020). Hva er poenget her?

3.8 Gjenbruk og behandling av kompositttavfall

3.8.1 Gjenbruk i nye anvendelser

Et eksempel på gjenbruk, er Aalborg i Danmark der utrangerte vindturbinblader brukes som brokonstruksjon. Bladenes opprinnelige form er bevart for å forlenge levetiden. Gjenbruk av blader i offentlig infrastruktur som i Aalborg, krever omfattende testing, men innføring av standarder og spesifikasjoner vil forenkle prosessen fram til godkjenning av gjenbruk (Jensen & Skelton, 2018).

Bladene kan også benyttes i arkitektur og design, for eksempel som leke- og sitteplasser, illustrert ved prosjektene REwind Willemsplein, Wikado, Kingloop Zuid og REwind Almere. Resultater fra GENVIND-prosjektet viser at Nederland kan eliminere kompositttavfall fra vindturbinblader fra den årlige avfallsstrømmen ved gjenbruk i 5% av årlig produksjon av urbane møbler (Jensen & Skelton, 2018).

3.8.2 Pyrolyse

I pyrolyse varmes brennbart material under fravær av oksygen, og brytes ned i substanser med lavere molekylær vekt, som for eksempel væsker og gasser. Pyrolyse bevarer materialet fra polymeren i kompositttavfall som kan brukes videre i kjemiske prosesser. Pyrolyseforsøk av kompositttavfall ved temperaturer mellom 700-1000˚C viser at opptil 30% av materialet fra pyrolyse som blant annet inneholder fibre fra kompositttavfall, kan erstatte materialer i Sheet Moulding Compund (SMC) uten nevneverdig effekt på mekaniske egenskaper (Pickering, 2006). SMC er kompositttmateriale bestående av fiberglass impregnert med et spesiallagd resin, og er basert på polyester, vinylester, eller fenol. Pyrolyse ved 400˚C eller høyere er nødvendig for å bryte ned polymerkjedene. Ved denne temperaturen vil spesifikk bruddenergi i fibrene reduseres med opptil 50% og ha stor effekt på mekaniske egenskaper. Pyrolyse er en teknologi som er moden for å kommersialiseres (Tabell 1). ReFiber i Danmark har for eksempel benyttet pyrolyse på kommersielt nivå, men stoppet aktiviteten i 2007 (Beauson & Brøndsted, 2016). Noe av grunnen kan ha vært at pyrolyse reduserer strekkstyrken i fibermaterialet med en faktor på to eller mer, og derfor gjør det mindre egnet i nye produkter.

3.8.3 Mekanisk gjenvinning

Ved mekanisk gjenvinning reduseres størrelsen på avfallet til biter på 50-100 mm i en kuttermølle, slik at det blir lettere å fjerne metall i kompositten og transportere avfallet. Deretter kuttes materialet opp i mindre biter på 10 mm til 50 µm i en hammerfabrikk, og sorteres ut fra størrelse. De minste partiklene er pulver og har høyere andel polymerer og fyllstoff enn kompositten. Pulveret kan benyttes som erstatning for $CaCO_3$ i SMC. De største partiklene har et stort størrelsesforhold og inneholder mye fiber. Denne teknologien er ferdig utviklet for glassfiber (se Tabell 1), men bruksområde for gjenvinningsproduktene er begrenset grunnet reduksjon i mekaniske egenskaper som styrke og duktilitet. Energigjenvinning ved forbrenning og bruk i sementproduksjon

3.8.4 Co-prosessering

Herdeplast har i likhet med andre plastmaterialer en høy brennverdi. De fleste fibre og fyllstoff i kompositten er derimot ikke-brennbare slik at brennverdien kun avhenger av andel polymerer. Det ikke-brennbare materialet, som for eksempel glassfiber og mineraler i fyllstoff, kan utnyttes ved co-prosessering fordi det inneholder samme type mineraler som inngår i sement. Co-prosessering er forbrenning av kompositt i sementovner. Det er dokumentert en gunstig effekt fra mineralene i kompositt på sement, men bor (B) i glassfiber kan forlenge herding. Dersom innholdet av bor i sement produsert fra glassfiber ikke overstiger 0,2% vil forlenget herdetid normalt ikke medføre problemer. Det antas at denne grensen ikke overstiges så lenge 10% eller mindre av materialet i sementovnen er kompositter (Pickering, 2006). Under denne betingelsen vil det ikke være tekniske problemer ved bruk av kompositter i sement.

3.8.5 Deponering

I dag deponeres mesteparten av kompositttavfallet fra vindturbiner, og utgjør ingen funksjon etter endt bruk. Mulighetene for utnyttelse av materialegenskaper og energiinnhold går tapt ved deponering, og er derfor det minst foretrukne alternativ for avfallshåndtering. Derfor har blant andre Nederland, Tyskland, Østerrike og Finland innført forbud mot deponering og energigjenvinning av kompositttavfall fra vindturbinblader. I disse landende benyttes co-prosessering og mekanisk gjenvinning som alternativer til deponering (Schmid, Ramon, Dierckx, & Wegman, 2020).

3.8.6 Status for teknologiutvikling for de ulike løsningene

Dagens teknologier for resirkulering av vindturbinblader kan rangeres ut fra teknologisk modenhetsnivå (TRL). I **Feil! Fant ikke referansekilden.** er de ulike teknologiene rangert på en skala fra 1 til 9, med utgangspunkt i definisjonene fra EU sine Horizon 2020-prosjekter (European Comission, 2019b). Skalaen spenner fra det laveste nivået med observerte grunnleggende prinsipper og et formulert teknologisk konsept, til det høyeste nivået der systemet er komplett og klart til bruk. Tabellen viser at pyrolyse ved gjenvinning av karbonfiberkompositt (KFK) og glassfiberkompositt (GFK), samt mekanisk grinding og co-prosessering av GFK har nådd det høyeste modenhetsnivået (9). Co-prosessering er ellers kun aktuelt for GFK, siden mineralsammensetningen av GFK og sement har flere likhetstrekk. Stadig flere kompositter inneholder en hybrid av både karbon- og glassfiber, som medfører at co-prosessering som gjenvinningsløsning vil fases ut.

Tabell 1 Tech Readiness Level for utvalgte gjenvinningsløsninger for vindturbinblader (Ierides & Reiland, 2019)

Behandlingsmetode	TRL for GFK	TRL for KFK	Input						Output					
			GFK	KFK	EL	Gass	Vann	Kull Kalk-stein Leire	Fiber	Fiber-pulver	Gass	Vann	*Kjemi-kaler	Øvrig
Mekanisk grinding	9	6/7	x	x	x				x	x				Avfall
Pyrolyse	9	9	x	x	x	x			x		x		x	
Mikrobølgepyrolyse	4/5	4/5	x	x	x	x			x		x		x	
Co-prosessering (Sement klinker)	9	-	x		x			x			x			Klinker-masse
Solvolyse	5/6	5/6	x	x	x		x		x		x		x	
Høyspent pulsfragmentering	6	6	x	x	x		x		x			x		Avfall
Fluidisering	5/6	5/6	x	x	x	x			x		x	x	x	CO_2-utslipp

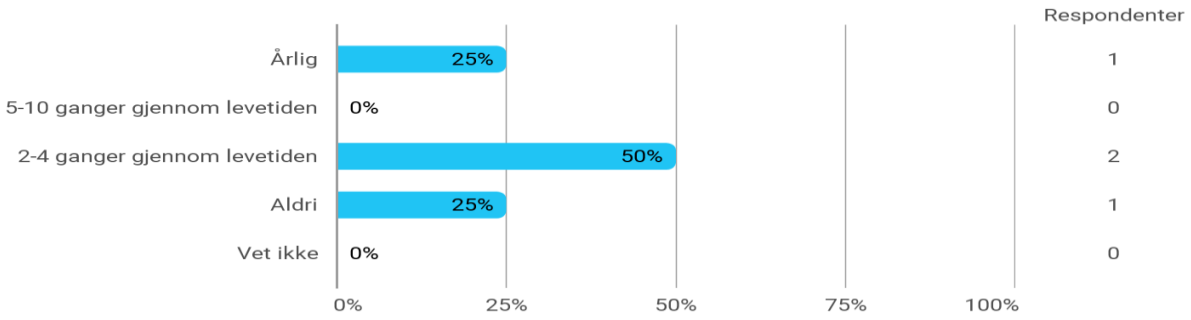
Co-prossesering er den mest aktuelle teknologien for gjenvinning av vindturbinblader i dag. Co-prosessering kan behandle store mengder kompositttavfall og er i tillegg kommersialisert. Likevel oppfordrer blant andre WindEurope å utvikle alternative teknologier som bevarer kvaliteten til fibrene i kompositttmaterialet, slik at de kan benyttes i nye produkter (Schmid et al., 2020).

4 Resultater fra spørreundersøkelsen

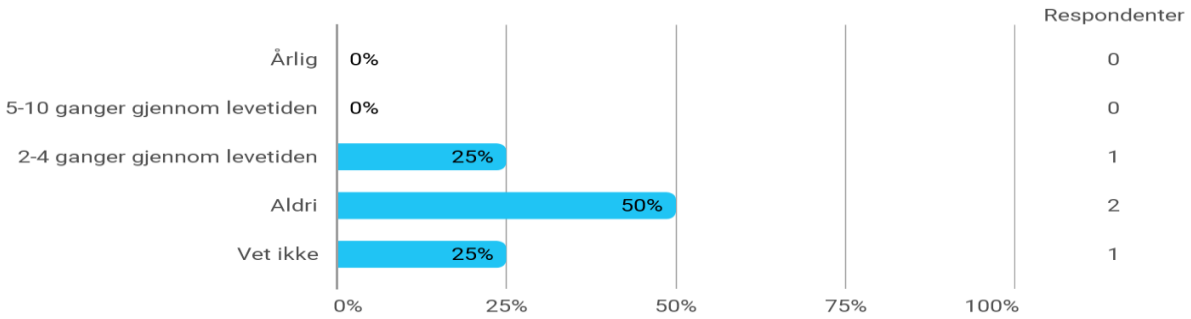
Dette kapittelet presenter resultatene fra spørreundersøkelsen i SurveyXact. Fem av de rundt 125 medlemsbedriftene i Norwea svare på undersøkelsen. De respektive respondentene oppga at de driftet mellom null og fire vindkraftanlegg. Et eksempel på størrelsesorden for et av disse vindkraftanleggene er 30 turbiner med 70 MW installert effekt.

4.1 Drift og vedlikehold

Det blir i større grad byttet komponenter som følge av planlagt vedlikehold, i forhold til utbytting av komponenter som følge av utforutsette hendelser. Planlagt vedlikehold medfører årlige utskiftninger av komponenter, men også 2-4 ganger i levetiden og aldri. Det er ikke spesifisert hvilke komponenter dette gjelder. Figur 5 og Figur 6 viser omfanget av utskiftninger av komponentene.



Figur 5 Utskiftning av komponenter fra planlagt vedlikehold



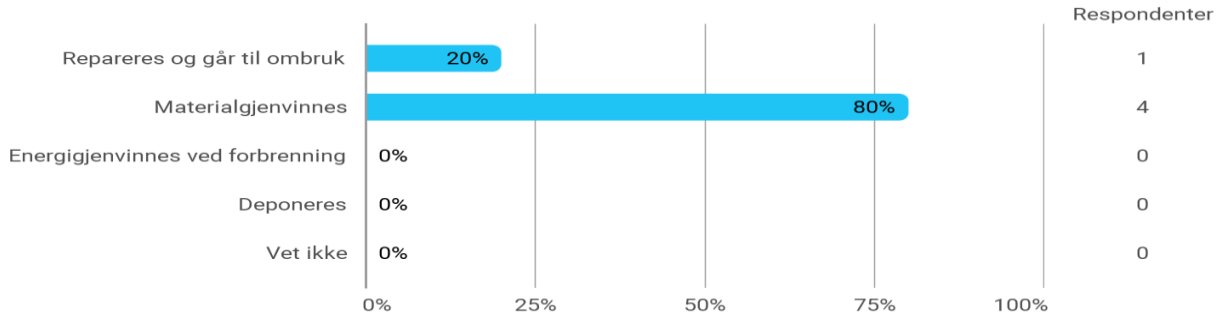
Figur 6 Utskiftninger av komponenter fra uforutsette hendelser

Kun én respondent har konkrete planer for gjenvinning eller ombruk av komponenter etter endt konsesjon, mens ingen av respondentene har gjort avtaler om tilbaketaking av komponenter for gjenvinning eller ombruk.

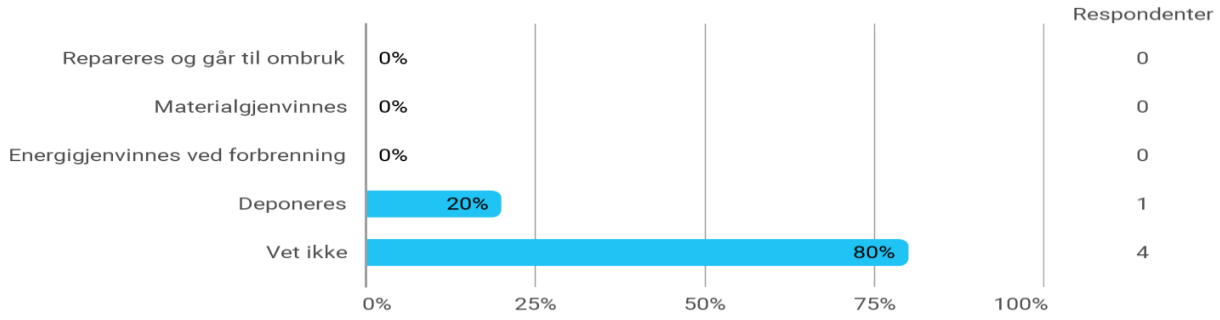
4.2 Sluttfase/demontering av anlegget

Det er to resultater som skiller seg ut ved etterbehandling av komponenter fra vindturbiner som tas ut av drift. Tårn blir hovedsakelig materialgjenvunnet, mens storparten av respondentene ikke vet hva som skjer med turbinbladene etter endt drift, som illustrert i Figur 7 og Figur 8. For øvrig svarer kun én respondent at

turbinbladene deponeres. De øvrige komponentene som nacelle/maskinhus, transformator, hub og gir blir i ulik grad materialgjenvunnet, mens enkelte av komponentene deponeres. Videre er det flere komponenter som repareres og går til ombruk, og dette gjelder i størst grad generatoren, der 60% av respondentene svarer at de reparer komponenten. Fra resultatene er det dermed tårn og generator som virker lettest å gjenvinne av komponentene i vindturbinen.

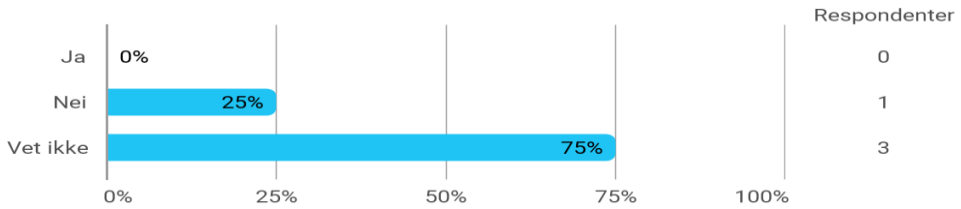


Figur 7 Gjenvinning av tårn



Figur 8 Gjenvinning av vindturbinblader

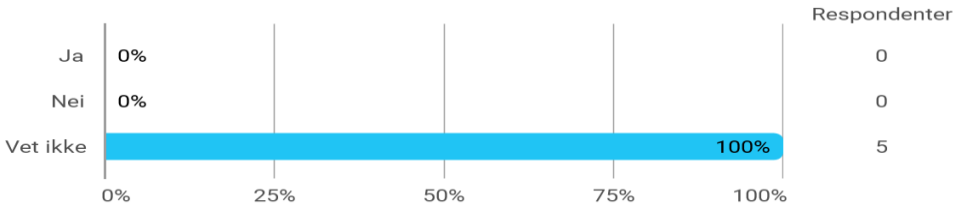
Det var også et spørsmål om gjenvinning av fundamentet for de spesifikke anleggene som respondentene driftet. Her ble det kun spurt om fundamentet ble gjenvunnet eller ikke, og som Figur 8 viser er det liten kunnskap om dette. Svarene fra spørsmål om gjenvinning av komponenter viser at respondentene ikke har tatt stilling til hvordan de skal gjenvinne komponenter med komplisert oppbygning, og komponenter som er vanskelig å transportere eller dele opp, slik som fundamentet (Figur 9).



Figur 9 Gjenvinnes fundament etter endt konsesjon?

Enkelte av komponentene har vesentlig kortere levetid enn de øvrige, og dette gjelder hovedsakelig gir og andre frekvensomformere, elektronikk, samt komponenter som ikke regnes som hovedkomponenter. Videre oppgis det at det i liten grad er forskjeller på levetid for komponenter fra ulike leverandører, men én produsent opplevde stor forskjell i levetid, som følge av at de var en del av industriutviklingsprosjekt med uferdige løsninger, der de opplevde at generator, hovedaksling og frekvensomformere hadde redusert

levetid sammenliknet med øvrige komponenter. Respondentene har ingen formening om enkelte komponenter har vesentlig lengre levetid enn samlet levetid for vindturbinen, som vist i Figur 10.



Figur 10 Har enkelte komponenter vesentlig lengre levetid enn samlet levetid for vindturbinen?

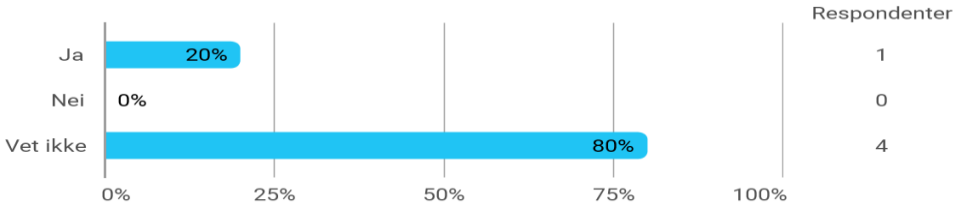
4.3 Økonomi

Tre respondenter oppgir at de har inngått avtaler som medfører gratis eller betalt leveranse av komponenter som skal gjenvinnes eller gjenbrukes. Dette gjelder materialer som stål og andre metaller, men også smøreoljer. Én respondent har en avtale med turbinleverandør der alle utskiftninger av komponenter til gjenvinning og ombruk er en del av en totalpakke, så de ikke får ekstra utgifter som følge av dette.

Det er motstridene meninger som hvilke materialer som medfører størst kostnad å levere til avfallsbehandling. Her oppgis: kjemikalier, oljer og annet spesialavfall, glassfiber og andre kompositttmaterialer samt materialer i transformatoren. Blant komponenter oppgir flesteparten at turbinbladene er mest kostbare å levere til avfallsbehandling.

4.4 Retningslinjer og regler for nedbygging av vindkraft

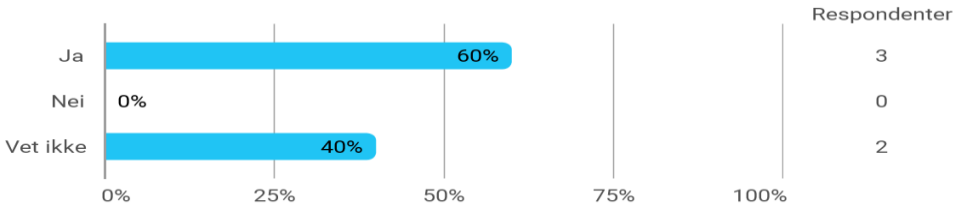
Få respondenter svarer at de opplever regelverket rundt demontering og gjenvinning av komponenter som tydelig, som vist i Figur 11. Samtidig oppgir 40% at de syns regelverket bør være strengere med hensyn til ombruk og gjenvinning. På spørsmål om det eksisterende regelverket bør oppdateres for nye anlegg, svarer 40% ja, og resten at de ikke vet.



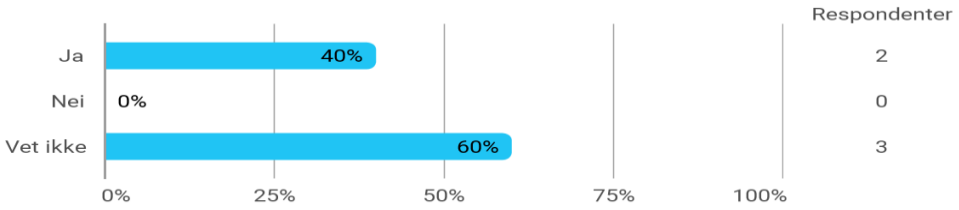
Figur 11 Opplever dere regelverket rundt demontering/nedbygging og ombruk/gjenvinning av komponenter som tydelig?

4.5 FoU-behov

Det uttrykkes et behov for mer forskning på gjenvinning av komponenter og materialer i vindturbiner de neste årene, som vist i Figur 12. 80% av respondentene har konsesjon for vindkraftutbygging, og flere av respondentene er interessert i å delta i et felles bransjedrevet FoU-prosjekt på ombruk og gjenvinning av komponenter i vindturbiner i Norge, som vist i Figur 13.



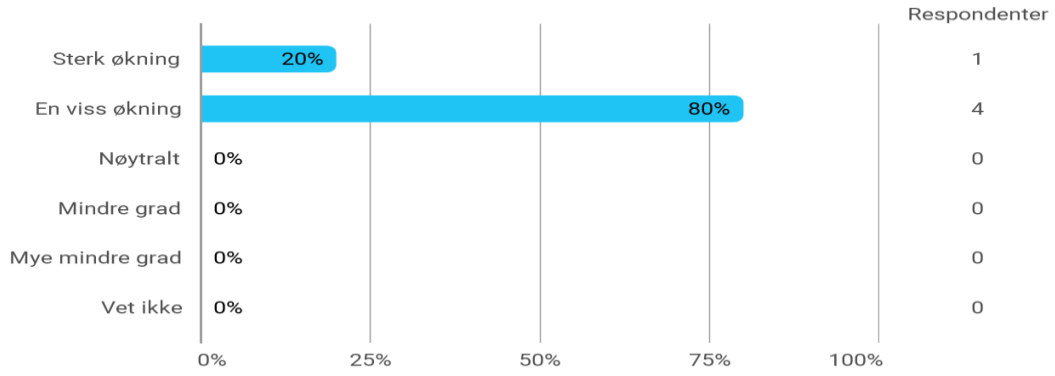
Figur 12 Er det behov for mer forskning og utvikling for å sikre økt grad av gjenvinning/ombruk av komponenter og materialer fra vindkraft i fremtiden?



Figur 13 Er det interessant for din virksomhet å delta i et felles bransjedrevet FoU-prosjekt på ombruk/gjenvinning av komponenter fra vindturbiner i Norge, og være med og søke forskningsmidler på temaet?

4.6 Endring over tid

Respondentene er samstemte på om fokuset på ombruk og gjenvinning av komponenter og materialer har endret seg i løpet av de siste 5 årene, og 80% mener det har skjedd en viss økning, mens 20% mener det har skjedd en sterk økning, som vist i Figur 14.



Figur 14 I hvilken grad har fokuset på ombruk/gjenvinning av komponenter og materialer endret seg de siste fem år?

Respondentene oppgir ulike årsaker til denne utviklingen, men er enige om at nye løsninger for ombruk og gjenvinning, og nye krav for gjenvinning har spilt en vesentlig rolle i økt fokus på ombruk og gjenvinning.

5 Resultater fra workshop med plasteksperter

I dette kapitlet presenteres bruksområder for gjenvunnet kompositttavfall. NORSUS arrangerte en workshop om gjenvinning av fiberarmert kompositt med deltagere fra Zephyr samt plasteksperter. Først presenterte NORSUS problemstillingen knyttet til gjenvinning av vindturbinblader, i tillegg til aktuelle gjenvinningsteknologier for kompositttavfallet. Deretter kom deltagerne med innspill til bruksområder for kompositttavfall, og hvilke gjenvinningsteknologier de anså som mest aktuelle for kompositttavfall i fremtiden.

5.1 Komposittsviller til jernbanespor

Det forventes ytterligere vekst i jernbane i årene som kommer som følge av lavt karbonfotavtrykk sammenliknet med annen transport som bil og fly. Dette vil føre med seg store investeringer både i Europa, og i verden for øvrig. I dag produseres mesteparten av jernbanesvillene i betong. Fordelene med betongsviller er at de er sterke, tunge og stabile, mens ulempene er at de har lett for å sprekke ved feil bruk, samt at fremstilling av betong medfører et høyt CO_2-fotavtrykk. Kreosotimpregnerte tresviller er i dag forbudt, og som erstatning for disse kan det benyttes plastsviller. Dermed kan man redusere mengden returplast, samtidig som man også reduserer bruk av betongsviller. Sviller av returplast har i tillegg gode egenskaper med hensyn til støy- og vibrasjonsdemping, som gjør de til et foretrukket alternativ fremfor stålsviller. Foreløpig er det to typer plastsviller på marked som lages av henholdsvis kompositt og termoplast.

Kompositttsvillene lages som regel av polyuretan, samt glassfiber, og er mye dyrere enn sviller av tre, betong eller stål. Kompositttsvillene har god styrke og stabilitet som følge av et stort innhold av glassfiber, og svillene blir ofte referert som FFU (Fiber Reinforces Foamed Urethane), som også benyttes i luftfartsindustrien. I dag er det japanske selskapet Sekisui en stor aktør på markedet for FFU-sviller.

Jernbanesviller i termoplast lages stort sett av plastavfall, ofte fra isopor eller plastavfall fra landbruket med tilsetningsstoffer og forsterket med kappet eller kontinuerlig glassfiber slik at de mekaniske kravene er tilfredsstilt. Foreløpig er sviller i termoplast på et teststadium for å undersøke om de kan benyttes i stor skala i fremtiden.

I dag er USA blant landene som har installert flest plastsviller, og her har de vært i bruk i over 20 år. I Europa vil det i løpet av de neste to årene være anslagsvis 250 000 plast- og kompositttsviller, og stadig flere prosjekter planlegger å bruke plast- eller kompositttsviller.

5.2 Gjenvunnet kompositttavfall som kjernemateriale i båtskrog

I 1995-96 ble det gjennomført et prosjekt på bruk av kompositt som kjernemateriale i båtskrog. Prosjektet ble ledet av SICOMP, og alle praktiske forsøk ble gjennomført hos Ryd i Sverige. Prosjektet gikk ut på å sammenlikne sprøytbart gjenvunnet kompositttavfall, med tradisjonelt kjernemateriale brukt i marine konstruksjoner. Funnene fra prosjektet viste signifikante forbedringer av styrke ved å erstatte vannfast finer med gjenvunnet kompositttavfall: Ved å erstatte 9 mm finer med tilsvarende tykkelse av gjenvunnet kompositttavfall ble det oppnådd en dobling av bøyestrekkstyrke.

5.3 Gjenvunnet kompositttavfall som akustisk material

Det er gjort forsøk med formål om å dokumentere de akustiske egenskapene til plater bestående av blant annet gjenvunnet kompositttavfall. Det ble brukt herdeplast og produksjonsavfall fra DIAB (PVC-skum). Absorpsjonsmålingene viste gode egenskaper for gjenvunnet kompositttavfall, og spesielt en konstruksjon skilte seg ut. Konstruksjonen hadde glassfiberarmert polyester på begge sider, mens innsiden bestod av produksjonsavfall fra DDIAB, samt en kjerne av gjenvunnet kompositttavfall. Testpanelet konkluderte med at denne konstruksjonen kunne ha et stort potensial som akustisk material, men det har siden dette ikke blitt gjennomført ytterligere forsøk for å dokumentere resultatene. I dag produserer for øvrig den danske virksomheten G-Fiber støyskjerming basert på gjenvunnet kompositttavfall.

5.4 Gjenvunnet kompositttavfall som tilsats i mørtel av epoxy eller polyester

Flere forsøk har blitt utført for å fremstille mørtel til polymergulv, og reparasjon av skader på betong i søyler, vegg og gulv. I et av forsøkene ble det lagt et polymergulv på 30 m^2, med 50% epoxy og 50% gjenvunnet kompositttavfall. Kompositttavfallet bestod av en blanding av partikler med korte fibre, og grove, fargede polyesterpartikler, som sikret styrke, heft og et akseptabelt design. Resultater fra forsøket viste at gulvet fungerte meget bra i en belastet kjøregang. Gjenvunnet kompositttavfall har som nevnt blitt benyttet i reparasjonsmørtel, men det finnes ingen dokumentasjon fra disse forsøkene. Følgende observasjoner fra forsøkene ble gjort:

- Gjenvunnet kompositttavfall/epoxy-blandingen var lett å jobbe med som gulvmaterial, sammenliknet med tilsvarende epoxy gulv med andre typer fyllstoff/tilslag
- Ved reparasjon av mindre skader i gulv ble det utført forsøk som sammenliknet egenskapene til epoxy/gjenvunnet kompositttavfall og epoxy/sand. Massen med gjenvunnet kompositttavfall var lettere å jobbe med, og hadde bedre heft med underlag over tid.
- Reparasjonsstedet viste god slitasjemotstand ved belastning av tyngre kjøretøy og trucker.

5.5 Solid surface

Solid Surface er en polyester utviklet i USA av Reichhold, og brukes til å støpe detaljer for våtrom. Forsøk med utstøpninger av plater med polyester og 50% gjenvunnet kompositttavfall viser at det er mulig å oppnå jevn og glatt overflate med lite poredannelse. Ved utstøping av massene ble det for øvrig konstruert et eget vibrasjonsbord for komprimering av massene. Videre ble det tilsatt microsilica for ytterligere komprimering av massene, på bakgrunn av erfaring fra betongindustrien. Dette førte til økt komprimering og densitet i prøveplaten.

5.6 Glassfiber som mulig råvare

I samarbeid med 3B på Birkeland er det identifisert tre mulige markeder for gjenvunnet glassfiber. Disse er Glava, Rockwool og Glassopor, der sistnevnte har et pågående prosjekt hvor glass fra innsamling skal erstatte leca som lett fyllmasse. Det gjøres store investeringer i et produksjonsanlegg i Fredrikstad til dette formålet, og Glassopor ønsker å utrede mulighetene for bruk av glassfiber som erstatning.

5.7 Tankproduksjon

BIA Härdplast AV i Køping produserer spesialtanker i herdeplast. Produksjonsmetoden er rotasjonsstøp der formen roterer horisontalt og polyester, glass og fyllstoff sprøytes med en robot inne i formen. Bedriften ønsker å erstatte deler av polyester, glass og fyllstoff med gjenvunnet kompositttavfall. Tankene hadde integrerte forsterkningsbånd i herdeplast, og disse ble sprøytet samtidig med den øvrige tank-konstruksjonen. Båndene bestod av gjenvunnet kompositttavfall. Bedriften har produsert slike tanker i 10 år hvor bruk av gjenvunnet kompositttavfall i båndene er ca. 25%.

5.8 Sheet Moulding Compound (SMC)

I Tyskland ble det rundt 1990-tallet etablert en resirkuleringsvirksomhet for kompositter i samarbeid med den tyske bilindustrien, hvor råvaren var kasserte SMC-detaljer. Det ble også etablert et eget logistikksystem. Innsamlede SMC-detaljer ble prosessert i et anlegg i Rastatt i Tyskland, og forretningsideen var å erstatte fyllstoff ($CaCO_3$) i råvaren med gjenvunnet kompositttavfall. Teknisk sett har ikke dette vært noe problem, og det ble i flere år produsert store kvantiteter, men ulønnsom produksjon førte til nedleggelse av virksomheten.

6 Diskusjon og oppsummering FoU-behov og -muligheter

Vindkraftanlegg representerer en materialressurs som bør ivaretas gjennom hele anleggets levetid, både i etablerings-, drifts- og nedbyggingsfasen, der den siste fasen er den viktigste. Per i dag finnes det ikke systematiske oversikter over hvor ofte ulike komponenter må byttes ut gjennom driftsfasen, hvordan de blir ivaretatt og behandlet, og hvor omfattende utskiftingen er. Spørreundersøkelsen i dette prosjektet indikerer at det skjer en viss utskifting av komponenter i gir og rotor, inklusive smøremidler, olje og kjemikalier, og at dette ofte går til ombruk eller gjenvinning. I denne sammenheng er det særlig viktig å ta hånd om stoffer som kan forårsake høye klimagassutslipp (som SF_6) eller som kan gi forurensning i grunnen hvis det ikke håndteres forskriftsmessig. Det har kommet frem spørsmål knyttet til hvor stor forurensning med mikroplast som kan oppstå som følge av slitasje på vindturbinblader, noe som ikke er dokumentert i internasjonal litteratur på området.

I Norge er det langt mer hardføre klimatiske forhold enn i mange andre land, slik at både utskifting av komponenter og mulig slitasje kan ha større betydning her enn i andre land der vindturbinene er mindre vind- og værutsatt. Det er derfor viktig å gjøre spesifikke studier i Norge under realistiske betingelser for å få mest mulig kunnskap om behov for bytte av komponenter og materialer i vindturbiner. Dette er både viktig for å få riktige data til bruk i livsløpsvurdering av vindkraft, der materialforbruket i driftsfasen kan underestimeres og gi for lav miljø- og ressursbelastning fra driftsfasen, og for å vurdere hvor materialeffektive og sirkulære vindturbiner fremstår i driftsfasen.

De største materialmengdene oppstår etter endt levetid av vindturbinene, når de skal tas ned og dekomponeres. Stål og andre metaller lar seg granske greit resirkulere og bruke på nytt inn i nye produkter, mens dette i langt mindre grad er tilfelle for betongfundamentet og for kompositttmaterialer i vindturbinblader. For å unngå og skade komponenter som lar seg gjenbruke eller for å unngå at farlige stoffer eller stoffer med høy klimagassbelastning kommer ut i naturen, er det viktig med utstyr som kan demontere og dele opp vindturbiner i passende deler, avhengig av om det er komponenter som kan brukes på nytt (stål i tårn, metaller i gir og rotor, rotorblader) eller om materialene skal gå til materialgjenvinning. Utfordringene med å gjenbruke og gjenvinne komponenter og materialer fra vindturbiner er bla at dette er strukturer som er kompliserte å demontere og som krever spesialutstyr, at det er strukturer som ikke gir en jevn flyt av materialer og komponenter, men som først og fremst oppstår ved «end-of-life» situasjoner, kanskje med flere års mellomrom. I tillegg er det logistiske problemer knyttet til store avstander og lokalisering i områder med lang avstand til mottaksanlegg. Det er derfor behov for utvikling av kunnskap og løsninger knyttet til både teknologi, logistikkløsninger og kompetanse knyttet til å få materialene og komponentene tilbake i syklusen, og ikke minst lønnsomme forretningsmodeller for slike prosesser.

Vindturbinbladene representerer som vist i denne studien den største utfordringen mht. ombruk og materialgjenvinning. Her finnes det løsninger i dag som i all hovedsak ligger i den nederste delen av avfallspyramiden (deponi, forbrenning), men det er et mulig potensial for å ta i bruk plastmaterialet i nye produkter og i visse sammenhenger få til ombruk av hele eller deler av turbinbladene. Dette er områder det blir forsket på flere steder i Europa i dag, og som det kan være interessant å koble seg på gjennom et eget norsk FoU-prosjekt på området. Plastmiljøet i Nedre Glomma-regionen, Reichhold som har fabrikk i Fredrikstad som produserer råvarer til vindturbinblader og design- og forskningsmiljøer i regionen bør ha gode muligheter for å bidra inn i en slik prosess, bla basert på erfaringene fra Sirkulær Plast-prosjektet.

Hva som er de mest bærekraftige løsningene for vindturbiner som er etablert i Norge, både mht. til ombruk/gjenvinning av komponenter og materialer gjennom driftsperioden og ikke minst ved nedbygging og demontering av vindturbiner, er også viktig å få dokumentert. Dette bør primært gjøres gjennom modellstudier, der det benyttes modeller basert på livsløpsvurderinger (LCA) i kombinasjon med økonomiske analyser og helhetlige bærekraftsanalyser. Analysene som NORSUS allerede har gjort på vindkraftanlegg i Norge kombinert med modeller for håndtering av plastavfall mm kan være et godt grunnlag å bygge videre på i slike analyser. Per i dag er det generelt lite kunnskap bygget opp for nedbyggingsfasen og ikke minst hvordan vindkraftanlegg kan bli mest mulig «sirkulær» gjennom å ta de rette valgene fra planlegging til nedbygging.

Disse temaene kan finne plass inn i flere typer FoU-programmer, både regionalt og nasjonalt.

- Regionalt er det gode muligheter for å søke hovedprosjekt, evt. via et kvalifiseringsprosjekt/forprosjekt i Regionalt Forskningsfond for Viken. Energi- og klima er ikke spesifikt nevnt i utlysningen her og det er fortsatt ikke lagt ut noen endelig handlingsplan/FoU-plan for prioritering av temaer, men det antas at både fornybar energi, klima og sirkulærøkonomi er temaer som vil være relevante for å søke prosjekt.
- Nasjonalt er det flere muligheter for å søke midler til et FoU-prosjekt ut fra problemstillingene nevnt over. Forskningsrådet har to typer utlysninger som begge har en innretning som gjør det mulig å fremme søknader:
    - Samarbeidsprosjekterer for å møte utfordringer i samfunn og næringsliv, der neste utlysning er 17.2 2021, og der det er utlyst prosjektmuligheter innenfor områder som energi og plast/sirkulærøkonomi. Utlysningen kan passe godt for et FoU-prosjekt på vindkraft/vindturbinblader innenfor det siste området, som har en ramme på ca. 70 mill. NOK. Det er forskningsmiljøer som kan stå som søker, men med bedrifter og offentlige virksomheter som partnere i prosjektet. Disse må stå for ca. 10% av finansieringen av prosjektet, gjennom in-kind midler (ikke kontantstøtte). Samlet budsjett for utlysningen er 1,1 mrd. NOK i 2021. Tilsvarende finnes det også en ordning med Kompetanseprosjekter for næringslivet, der energi også er et sentralt tema, og der det er lyst ut totalt 125 mill. NOK innenfor temaet energi. Også her er det forskningsmiljøer som står som søker med partnere fra bedrifter, og det er krav til medfinansiering fra norske bedrifter på minst 20% av totalbudsjettet i form av kontante midler. Minstebeløpet for et FoU-prosjekt er 4 mill. NOK.
    - Innovasjonsprosjekter i næringslivet (IPN) -søknader, som er en støtteordning i Forskningsrådet der bedrifter skal stå som søkere og evt. prosjekteier. Her er det gode muligheter for å søke om denne type problemstilling, siden utlysningen dekker bredt rundt problemstillinger knyttet til bærekraftige energisystemer og -løsninger. Det er løpende søknadsfrist og behandling av søknader flere ganger per år, og søknader kan mottas fra 4.1 2021 (ny utlysning kommer rundt 1.12 2020).

I et FoU-prosjekt vil det være naturlig å trekke med seg andre partnere inn i prosjektsamarbeidet, der de ulike partnerne vil ha ulike roller. Mulige FoU-samarbeidspartnere i et hovedprosjekt kan bla være

- Andre vindkraft selskaper i utbygging/drift (flere har sagt seg interessert i å delta i et mulig FoU-prosjekt gjennom spørreundersøkelsen)

- Plastkompositтbedrifter (flere bedrifter i Nedre Glomma har signalisert interesse for å delta i et mulig hovedprosjekt)
- Sluttbrukere av nye produkter basert på gjenvunnet materiale (ingen her er forespurt så langt om mulig deltagelse)
- Produsenter av vindturbiner (en del av disse er allerede involvert i FoU, som det er naturlig å bygge kontakt inn mot)
- Selskaper som kan utvikle løsninger for demontering, oppkutting mm (ingen her er forespurt så langt om mulig deltagelse)
- Produsentansvarsselskaper som RENAS etc. (potensielt interessert i å delta)
- FoU-miljøer – her er det særlig SINTEF som kan være aktuell som samarbeidspartner med bakgrunn i materialteknologisk kompetanse.

Konklusjon:

Denne studien viser at det er behov for ny kunnskap rundt utnyttelse av vindturbinblader, og det vil derfor være gode muligheter for finansiering av relatert forskningsaktivitet. Det er også identifisert mulige programmer for å søke om midler, og det anbefales å etablere et konsortium med flere relevante samarbeidspartnere og søke midler gjennom Forskningsrådets program Innovasjonsprosjekt i Næringslivet (IPN) eller program hos Regionalt Forskningsfond Viken.

7 Referanser

Beauson, J., & Brøndsted, P. (2016). Wind Turbine Blades: An End of Life
Perspective. In *MARE-WINT: New Materials and Reliability in Offshore Wind Turbine Technology*.
Bjerkomp, T. (2020). *Resirkulerings- og ombruksløsninger for vindturbinblader fra norske vindkraftanlegg.* (Master). Norges miljø- og biovitenskapelige universitet,
Cherrington, R., Goodship, V., Meredith, J., Wood, B. M., Coles, S. R., Vuillaume, A., . . . Kirwan, K. (2012). Producer responsibility: Defining the incentive for recycling composite wind turbine blades in Europe. *Energy Policy, 47*, 13-21. doi:https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.076
European Comission. (2019a). Closing the loop: Commission delivers on Circular Economy Action Plan. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_19_1480
European Comission. (2019b). Horizon 2020.
European Comission. (2020). Changing how we produce and consume: New Circular Economy Action Plan shows the way to a climate-neutral, competitive economy of empowered consumers.
Ierides, M., & Reiland, J. (2019). Wind turbine blade circularity
Technologies and practices around the value chain. Retrieved from https://baxcompany.com/wp-content/uploads/2019/06/wind-turbine-circularity.pdf
Jensen, J. P., & Skelton, K. (2018). Wind turbine blade recycling: Experiences, challenges and possibilities in a circular economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 97*, 165-176. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.041
Larsen, K. (2009). Recycling wind. *Reinforced Plastics, 53*(1), 20-25. doi:https://doi.org/10.1016/S0034-3617(09)70043-8
Lijin, T., & Ramachandra, M. (2016). Advanced materials for wind turbine blade- A Review. *Materials Today: Proceedings*.
Liu, P., & Barlow, C. Y. (2017). Wind turbine blade waste in 2050. *Waste Management*.
Milanese, A. (2009). *Recyclability of Wind Turbines, Current and Future: Technical, Economic and Environmental.* (Dissertation). The University of Glamorgan,
Pickering, S. J. (2006). Recycling technologies for thermoset composite materials—current status. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 37*(8), 1206-1215. doi:https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2005.05.030
Regjeringen. (2014). Fornybar energiproduksjon i Norge. Retrieved from https://www.regjeringen.no/no/tema/energi/fornybar-energi/fornybar-energiproduksjon-i-norge/id2343462/
Regjeringen. (2019). Sirkulær økonomi. Suksesshistorier og nye utfordringer. Retrieved from https://www.regjeringen.no/no/tema/europapolitikk/aktuelt/aktuelt/rapporter-fra-eu-delegasjonen-2019/2019/sirkular-okonomi.-suksesshistorier-og-nye-utfordringer/id2637334/
Raadal, H. L., & Vold, B. I. (2012). GHG emissions and energy performance of wind power
SBC Energy Institute. (2013). *LEADING THE ENERGY TRANSITION*. Retrieved from
Schmid, M., Ramon, N. G., Dierckx, A., & Wegman, T. (2020). *Accelerating Wind Turbine Blade Circularity*. Retrieved from
Silva, M., & Raadal, H. L. (2019). *Life cycle GHG emissions of renewable and nonrenewable electricity generation technologies* (OR.23.19). Retrieved from
Vijaya Kumar, K., Safiulla, M., & Khaleel Ahmed, A. N. (2013). An Experimental Evaluation of Fiber Reinforced Polypropylene Thermoplastics for Aerospace Applications. *Journal of Mechanical Engineering*.
WindEurope, Cefic, & EuCIA. (2020). *Accelerating Wind Turbine Blade Circularity*. Retrieved from
Wingstedt, A., Iversen, C., Bokerød, T.-A., Eriksen, T., Hansen, A., Hansen, J., . . . Vatne, M. (2020). *Grønn vindenergi i symbiose med industrien*
Konseptutredning for innovative energi- og klimaløsninger i bygg, områder og energisystem. Retrieved from

Ziegler, L., Gonzalez, E., Rubert, T., Smolka, U., & Melero, J. J. (2018). Lifetime extension of onshore wind turbines: A review covering Germany, Spain, Denmark, and the UK. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82*, 1261-1271. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.100

Øvrebø, O. A. (2020). Opp 43 prosent: Enda en rekord for norsk vindkraft. Retrieved from https://energiogklima.no/nyhet/datakilder/status-for-vindkraft-i-norge/

Vedlegg 1

Datainnsamlingen fra spørreskjemaet kartlegger planleggings- og gjennomføringsfasen for avfallshåndtering av vindturbiner, som ledd i prosjektet «Gjenvinning av vindturbiner». Spørsmålene er delt inn i kategoriene: drift og vedlikehold, sluttfase, økonomi, retningslinjer/føringer for vindturbindrift og FoU. Prosjektet gjennomføres av Østfoldforskning i samarbeid med Zephyr. Svarene behandles konfidensielt av Østfoldforskning, og spørreskjemaet er godkjent for distribusjon av Norsk senter for forskningsdata.

(1) ❑ Trykk her for å bekrefte at du har lest, og aksepterer vilkårene i vedlagt informasjonsskriv som inneholder dine rettigheter ved behandling av personopplysninger i spørreskjemaet.

Navn på selskapet:

_____

Navn på kontaktperson:

_____

E-postadresse:

_____

Telefon:

_____

Antall vindkraftanlegg i drift i dag (oppgi inntil 5 største anlegg):

_____

Videre følger spesifikke spørsmål til respektive anlegg, knyttet til drift og vedlikehold.

Navn på anlegg:

_____

Kommune:

_____

Byggeår:

_____

Antall turbiner:

_____

Samlet installert effekt [MW]:

_____

Drift og vedlikehold

Hvor ofte gjennom levetiden har det vært nødvendig med utbytting av deler til/hele hovedkomponenter (tårn, gir, generator, transformator, nacelle/maskinhus, turbinblad, fundament?) som del av forebyggende/planlagt vedlikehold?

(1) ❑ Årlig

(2) ❑ 5-10 ganger gjennom levetiden

(3) ❑ 2-4 ganger gjennom levetiden

(4) ❑ Aldri

(5) ❑ Vet ikke

Hvor ofte gjennom levetiden har det vært nødvendig med utbytting av hovedkomponentene (tårn, gir, generator, transformator, hub, turbinblad) som konsekvens av uforutsette hendelser/plutselig materialsvikt?

(1) ❑ Årlig

(2) ❑ 5-10 ganger gjennom levetiden

(3) ❑ 2-4 ganger gjennom levetiden

(4) ❑ Aldri

(5) ❑ Vet ikke

Hva er forventet levetid på vindturbinene i anlegget samlet sett?

_____

Er det lagt konkrete planer for gjenvinning/ombruk av deler og materialer?

(1) ❑ Ja

(2) ❑ Nei

(3) ❑ Vet ikke

Er det gjort avtaler om «tilbaketaking» av komponenter og deler for ombruk/gjenvinning med leverandøren eller andre aktører. Hvis ja: hvem?

(1) ❑ Ja

(2) ❑ Nei

(3) ❑ Vet ikke

I hvilken grad har nødvendig utskifting av deler forårsaket lengre/uforutsette stans i vindkraftproduksjonen de siste 5 årene:

(1) ❑ Ingen stans i perioden

(2) ❑ Mindre enn én ukes stans totalt

(3) ❑ 1-2 uker stans totalt

(4) ❑ 3-5 uker stans totalt

(5) ❑ 6-10 uker stans totalt

(6) ❑ mer enn 10 uker stans totalt

Gjenvinnes fundamentet ved endt konsesjon?

(1) ❑ Ja

(2) ❑ Nei

(3) ❑ Vet ikke

Tildekkes veier ved endt konsesjon?

(1) ❑ Ja

(2) ❑ Nei

(3) ❑ Vet ikke

Tildekkes kranoppstillingsplass ved endt konsesjon?

(1) ❑ Ja

(2) ❑ Nei

(3) ❑ Vet ikke

Sluttfase/demontering av anlegget

Hvordan behandles den enkelte komponent som må byttes ut?

	Repareres og går til ombruk	Materialgjenvinnes	Energigjenvinnes ved forbrenning	Deponeres	Vet ikke
Tårn	(1) ❑	(2) ❑	(3) ❑	(4) ❑	(5) ❑
Gir	(1) ❑	(2) ❑	(3) ❑	(4) ❑	(5) ❑
Generator	(1) ❑	(2) ❑	(3) ❑	(4) ❑	(5) ❑
Transformator	(1) ❑	(2) ❑	(3) ❑	(4) ❑	(5) ❑
Hub	(1) ❑	(2) ❑	(3) ❑	(4) ❑	(5) ❑
Nacelle/maskinhus	(1) ❑	(2) ❑	(3) ❑	(4) ❑	(5) ❑
Turbinblad	(1) ❑	(2) ❑	(3) ❑	(4) ❑	(5) ❑

Er det vesentlige forskjeller i levetid på komponenter mellom turbiner fra ulike leverandører. Hvis ja: hvilke komponenter?

(1) ❑ Ja

(2) ❑ Nei

(3) ❑ Vet ikke

Spesifiser:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Har enkelte komponenter vesentlig kortere levetid enn samlet levetid for vindturbinen.

Hvis ja: hvilke komponenter?

(1) ❑ Ja

(2) ❑ Nei

(3) ❑ Vet ikke

Spesifiser:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Har enkelte komponenter vesentlig lengre levetid enn samlet levetid for vindturbinen.

Hvis ja: hvilke komponenter?

(1) ❑ Ja

(2) ❑ Nei

(3) ❑ Vet ikke

Spesifiser:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Har leverandørene kommet opp med løsninger for ombruk/gjenvinning av komponenter/materialer. Hvis ja: anses disse som gode?

(1) ❑ Ja

(2) ❑ Nei

(3) ❑ Vet ikke

Spesifiser:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Økonomi

Er det materialer/komponenter som dere får levert gratis eller evt. betales for å levere tilbake til ombruk/gjenvinning? Hvis ja: hvilke?

(1) ❑ Ja

(2) ❑ Nei

(3) ❑ Vet ikke

Spesifiser:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Hvilke materialer er mest kostbare å avhende/levere til avfallsbehandling?

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Hvilke komponenter er mest kostbare å avhende/levere til avfallsbehandling?

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Retningslinjer/føringer for vindturbindrift

Opplever dere regelverket rundt demontering/nedbygging og ombruk/gjenvinning av komponenter som tydelig?

(1) ❑ Ja

(2) ❑ Nei

(3) ❑ Vet ikke

Burde det evt. være strengere mht. ombruk/gjenvinning?

(1) ❑ Ja

(2) ❑ Nei

(3) ❑ Vet ikke

Burde krav til mulig ombruk/gjenvinning av komponenter og materialer for eksisterende vindkraftanlegg erstattes med nye for planlagte anlegg?

(1) ❑ Ja

(2) ❑ Nei

(3) ❑ Vet ikke

FoU-behov

Er det behov for mer forskning og utvikling for å sikre økt grad av gjenvinning/ombruk av komponenter og materialer fra vindkraft i fremtiden?

(1) ❑ Ja

(2) ❑ Nei

(3) ❑ Vet ikke

Er det interessant for din virksomhet å delta i et felles bransjedrevet FoU-prosjekt på ombruk/gjenvinning av komponenter fra vindturbiner i Norge, og være med og søke forskningsmidler på temaet?

(1) ❑ Ja

(2) ❑ Nei

(3) ❑ Vet ikke

Har dere konsesjon for vindkraftprosjekter, og planlegger utbygging av disse i løpet av de neste to årene?

(1) ❑ Ja

(2) ❑ Nei

(3) ❑ Vet ikke

Utvikling/endringer i fokus på ombruk/gjenvinning over tid

I hvilken grad har fokuset på ombruk/gjenvinning av komponenter og materialer endret seg de siste fem år?

(1) ❑ Sterk økning

(2) ❑ En viss økning

(3) ❑ Nøytralt

(4) ❑ Mindre grad

(5) ❑ Mye mindre grad

(6) ❑ Vet ikke

Hvor viktig har følgende faktorer vært for denne utviklingen:

Ny sensorteknologi?

(1) ❑ Meget viktig

(2) ❑ Viktig

(3) ❑ Nøytral

(4) ❑ Lite viktig

(5) ❑ Ingen betydning

(6) ❑ Vet ikke

Planlagt vedlikehold?

(1) ❑ Meget viktig

(2) ❑ Viktig

(3) ❑ Nøytral

(4) ❑ Lite viktig

(5) ❑ Ingen betydning

(6) ❑ Vet ikke

Nye krav om gjenvinning?

(1) ❑ Meget viktig

(2) ❑ Viktig

(3) ❑ Nøytral

(4) ❑ Lite viktig

(5) ❑ Ingen betydning

(6) ❑ Vet ikke

Økt etterspørsel for brukte komponenter/materialer i markedet?

(1) ❑ Meget viktig

(2) ❑ Viktig

(3) ❑ Nøytral

(4) ❑ Lite viktig

(5) ❑ Ingen betydning

(6) ❑ Vet ikke

Nye løsninger for ombruk/gjenvinning tilgjengelig?

(1) ❑ Meget viktig

(2) ❑ Viktig

(3) ❑ Nøytral

(4) ❑ Lite viktig

(5) ❑ Ingen betydning

(6) ❑ Vet ikke

Andre faktorer? Spesifiser

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Takk for ditt bidrag!

NORSUS
Norsk institutt for bærekraftsforskning

Visjonen til NORSUS Norsk institutt for bærekraftsforskning AS, tidligere Østfoldforskning AS, er å bidra til bærekraftig samfunnsutvikling. Vi utvikler kunnskap og metoder for å forstå og implementere bærekraft bedre i samfunnet. Sammen med bedrifter og offentlige aktører kartlegger og reduserer vi miljøbelastninger, ofte med økonomisk gevinst. Slik bidrar vi til å bevege samfunnet i en bærekraftig retning.

NETTSIDE
www.norsus.no

E-POST
post@norsus.no

ORG. NR.:
989 861 751 MVA

ADRESSE
Stadion 4, 1671 Kråkerøy