

# Bæredygtig udvikling af malingsprodukter

Hvad er det mest miljømæssigt bæredygtige malingsystem til et havvindmølletårn?

Af Mads Juhl, ph.d.-studerende, Kim Dam-Johansen, professor, The Hempel Foundation Coatings Science and Technology Centre (CoaST), Institut for Kemiteknik, DTU og Michael Z. Hauchild, professor, Center for absolut bæredygtighed, DTU

Generelt set kræver en bæredygtig udvikling i malingsindustrien en kombination af miljømæssige, økonomiske og sociale hensyn, hvor man arbejder på at minimere påvirkningen af miljøet og samtidig øge værdien for samfundet som helhed i form af bedre malingsystemer med større holdbarhed.

## Tiltag til en bæredygtig udvikling i malingsindustrien

For at sikre, at udviklingen i malingsindustrien går i en bæredygtig retning, er der flere tiltag, som industrien kan implementere:

1. Reducere miljøpåvirkning ved at vælge ingredienser (i hele værdikæden), som er mindre skadelige for miljø og sundhed. Dette kræver samarbejde mellem råvareleverandører, producenter og brugere.
2. Reducere behovet for nye råmaterialer ved øget genanvendelse og genindvinding af eksempelvis malerspand og andet pakkemateriale.
3. Fokus på bæredygtighed i produktudvikling: Malingsindustrien kan udvikle produkter, der er mere bæredygtige ved at anvende ingredienser og materialer, der har en mindre miljømæssig påvirkning, og som er mere holdbare og energieffektive. Desuden kan man fokusere på at udvikle maling, der indeholder mindre farlige stoffer og mindre VOC'er (flygtige organiske forbindelser), som kan have en negativ indvirkning på luftkvaliteten indendørs og udendørs.
4. Samarbejde med andre virksomheder

Materialer, ressourcer og energi	Mængde	Enhed
Bindemiddel	4,61	g
Fortykningsmiddel	12,8	g
Solvent 1	18,7	g
Epoxy	63,8	g
Solvent 2	6,3	g
Skumdæmper	1,9	g
Hærder	60,2	g
Solvent 3	21,3	g
Befugtningsmiddel	1,8	g
Talkum	20,7	g
Voks	1,8	g
Solvent 4	78,5	g
Zink	707,6	g
Elektricitet	0,864	MJ
Damp	0,37	Kwh
Vand	4,0	g
<b>Direkte emissioner:</b>		
Ammoniak	4,8E-04	g
Kuldioxid	96,3	g
Kulilte	0,02	g
Støv	0,07	g
Farligt affald	48,6	g
Metan	1,30E-03	g
Nitrogen oxider	0,07	g
NMVOC	2,8	g
Uorganisk affald	21,6	g
Spildevand	4,10E-03	L

Tabel 1. Eksempel på materialer, ressourcer og energi der indgår i processen for at producere 1.000 g zinkepoxy.

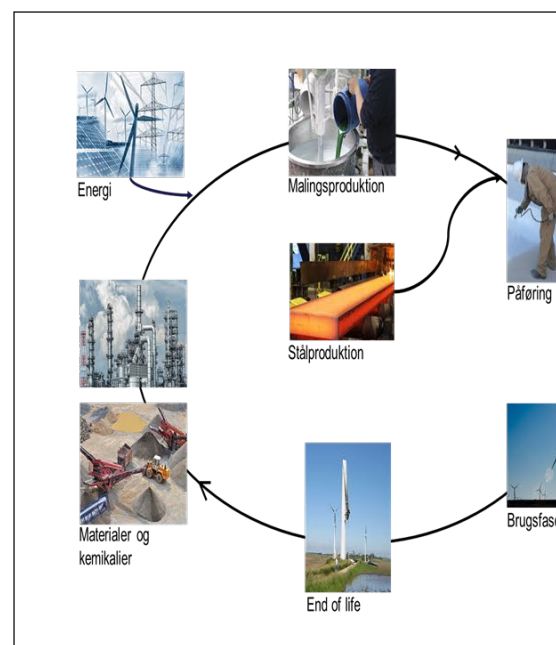
og interessenter: Malingsindustrien kan samarbejde med andre virksomheder og interessenter for at finde løsninger på fælles udfordringer og fremme bæredygtige praksisser. Dette kan være samarbejde med leverandører, kunder og samarbejdspartnere om

at udvikle mere bæredygtige produktionsmetoder og materialer.

5. Certificeringer og standarder: Malingsindustrien kan opnå certificeringer og overholde standarder for bæredygtighed for at demonstrere deres engagement i at fremme en bæredygtig udvikling. Dette kan også hjælpe med at skabe større gennemsigtighed og ansvarlighed i branchen.

Det er nemt at blive enige om ovenstående punkter, hvorimod det er langt vanskeligere at blive enige, når det kommer til spørgsmålet om, hvordan vi monitorerer, måler og kvantificerer, så vi sikrer os, at de tiltag vi tager, også bringer os i en mere bæredygtig retning.

Et eksempel herpå er spørgsmålet om, hvilket malingsystem som er miljømæssigt mest bæredygtigt til maling og korrosionsbeskyttelse af et havvindmølletårn. Der findes flere alternative systemer, som opfylder de krav, som branchen har til 20 års levetid uden nævneværdig vedligeholdelse. Den traditionelle metode er at anvende en varm



Miljøbelastning (udvalgte midpoint kategorier)	Enhed	Basis system TSM	Alternativ med Zinkepoxy	Alternativ med Zinksilikat
Global opvarmning	kg CO <sub>2</sub> ækvivalent	1.49E+01	7.63E+00	6.78E+00
Forbrug af fossile ressourcer	kg olie ækvivalent	3.41E+00	2.57E+00	2.30E+00
Udledning af næringsrige stoffer til ferskvand	kg fosfor ækvivalent	9.63E-03	1.73E-03	2.00E-03
Udledning af kræftfremkaldende stoffer	kg 1,4-DCB* ækvivalent	8.64E-01	1.21E-01	1.36E-01
Partikelemission	kg PM2.5 ækvivalent	2.50E-02	9.99E-03	1.03E-02

\*1,4-DCB=1,4Dichlorobenzene

Tabel 2. Udvalgte miljøbelastningskategorier beregnet i henhold til ISO14044 med anvendelse af ReCePi 2016 metoden. Rød farve angiver mest miljøbelastende alternativ i kategorien og grøn angiver den mindste miljøbelastning.

sprøjtemetallisering (TSM) som første lag, efterfulgt af organiske malingslag bestående af epoxy og polyuretan. Alternativerne er at anvende enten en zink-epoxyprimer som første lag efterfulgt af epoxy og polyuretan, eller en zinksilikatprimer ligeledes efterfulgt af epoxy og polyuretan. Der er mange af den slags dilemmaer, som vi nok erkender, men ikke rigtigt kender svaret på.

**Livscyklusvurdering**

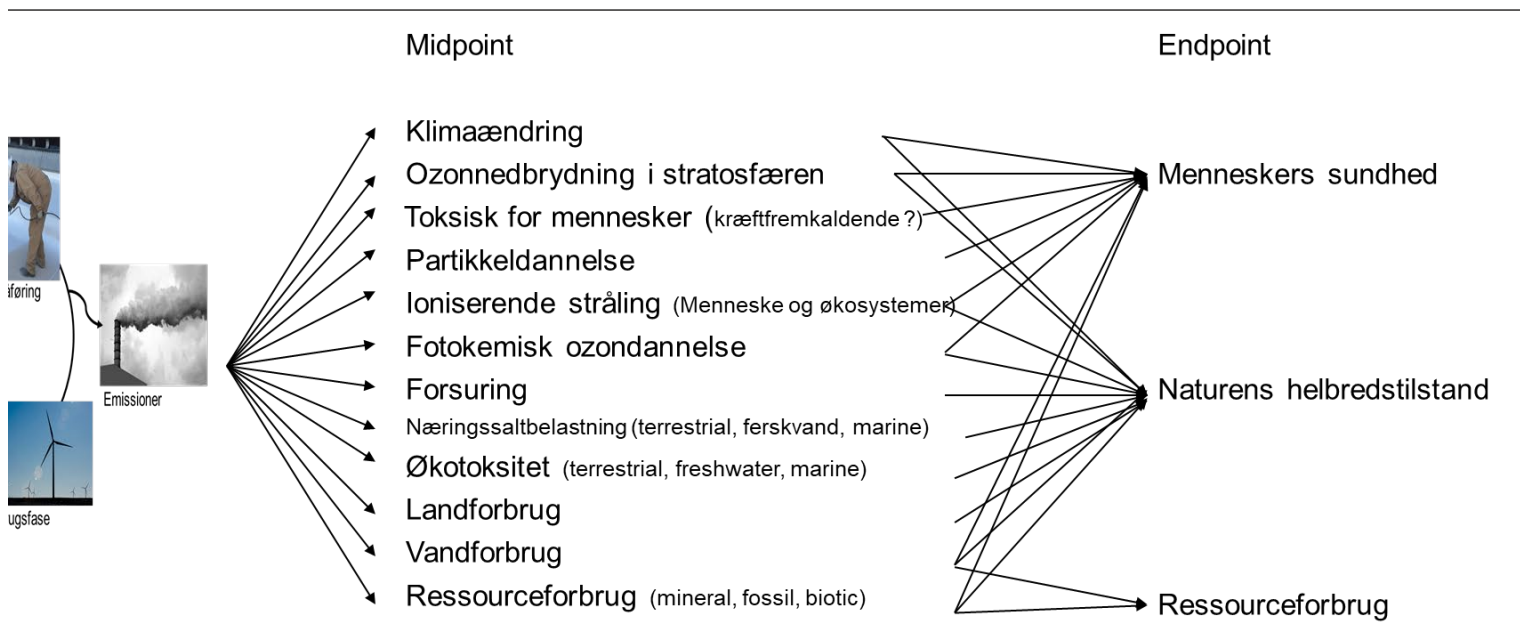
Værktøjet til at kvantificere miljøpåvirkningerne, og dermed til at få svar på dilemmaerne, er livscyklusvurdering

(LCA). Der eksisterer et standardiseret værktøjssæt (ISO14044 [1]), som kan anvendes på livscyklusser inden for stort set alle genrer. Det går i al sin enkelthed ud på, at man kvantificerer de fysiske flows til og fra alle processer i produktets livscyklus fra vugge til grav. Input til processerne er kemikalier, materialer og energi, mens output er produkt, emissioner til omgivelserne og affald. Tabel 1 er et eksempel på, hvilke processer der indgår til at beskrive en zinkepoxyprimer. Når processerne kombineres som svarende til livscyklusen, vil de samlede ressourceforbrug til og

emissioner fra alle processerne beskrive de miljømæssige belastninger, der hidrører fra det færdige produkt.

For at kunne svare på hvilket af malingsystemerne, der er miljømæssigt mest bæredygtigt, må vi således udføre livscyklusvurderinger på de tre alternativer, hvor resultatet vil beskrive miljøbelastningerne i de miljøpåvirkningskategorier, som man fokuserer på.

I figur 1 er miljøbelastningerne fra et malingsystems livscyklus delt ind i miljøkategorier, og alt efter hvilken detaljeringsgrad og anvendelse man ønsker, vil man karakterisere sine resultater



Figur 1. Miljøbelastningerne fra livscyklusen for et malingsystem pegende mod midpoint- og endpoint-kategorier [2].

Miljøfaktor (endpoint kategorier)	Enhed	Basis system TSM	Alternativ med zinkepoxy	Alternativ med zinksilikat
Menneskers sundhed	DALY	4.11E-05	2.55E-05	1.79E-05
Ressourceforbrug	USD2013	9.15E-01	4.24E-01	6.81E-01
Naturens helbredstilstand	Arter.år	7.63E-08	3.50E-08	4.02E-08

Tabel 3. Endpoint livscyklusvurdering fra 1 kvadratmeter havvindmølleår behandlet med tre forskellige beskyttende malingsystemer. Rød farve angiver mest miljøbelastende alternativ i kategorien og grøn angiver den mindste miljøbelastning.

mod enten "midpoint"- eller "endpoint"-kategorier. Anvendes "midpoint" vil man kunne sammenligne direkte på global opvarmning og toksiske emissioner, hvorimod hvis der karakteriseres mod "endpoint"-kategorier vil man få et mere sammensat resultat, som måske er lettere at gå til, men også indeholder mere usikkerhed, end når "midpoint"-resultaterne anvendes.

### Sprøjtemetallisering (TSM) eller zinkepoxy eller zinksilikat?

Hvis vi vender tilbage til spørgsmålet om, hvilket af de tre alternativer som det er miljømæssig mest bæredygtigt at benytte: For systemerne baseret på TSM, zinkepoxy eller zinksilikat beskriver vi først de processer, som indgår:

- TMS-systemet er et standardsystem, som bruges i industrien i dag.
- Zinkepoxysystemet har med de seneste års rustbeskyttende forbedringer vist sig at kunne leve op til de krav, som industrien stiller for holdbarhed og beskyttelse til et malingsystem, der anvendes på et havvindmølleår.
- Zinksilikat-systemet lever på tilsvarende vis op til industriens krav til holdbarhed og beskyttelse, men er i praksis anset for at være vanskeligere at håndtere end zinkepoxy.

Alle anvendte malingsrecepter er udarbejdet i CoaST (The Hempel Foundation Coatings Science and Technology Centre), og malingsystemerne opfylder kravene som beskrevet af Megavind i deres forslag til en industristandard for overfladebehandling af havvindmøller [3].

De tre datasæt behandles herefter i et LCA softwareprogram (OpenLCA) i henhold til ISO14044, og når vi beregner midpoint-kategorier i henhold til ReCiPe 2016(H) metoden [4], opnås resultater som vist i tabel 2, side 17. Den funktionelle enhed er påføring af malingsystem på 1 kvadratmeter havvindmølleår fremstillet i stål og rustbeskyttet i 20 år.

Resultaterne viser, at det generelt er basissystemet baseret på sprøjtemetallisering, som er det mindst miljømæssigt

bæredygtige system. Samtidig er det svært at svare på, hvilke af de to alternativer der er bedst, idet forskellen mellem dem er så lille, at det ikke er muligt ud fra denne analyse at udpege det mest favorable alternativ.

### Hvilken kategori betyder mest?

For mange lande og virksomheder er det den internationale globale dagsorden sat af FN gennem blandt andet klimakonventionen og Parisaftalen [5], som har gjort, at global opvarmning får al opmærksomheden, og nærmest er blevet et synonym for miljømæssig bæredygtighed. Derfor tages rigtig mange beslutninger med den globale opvarmning for øje, uden at tage hensyn til de øvrige miljøbelastningskategorier. Der er dog heldigvis igangsat mange forskellige initiativer til beskyttelse af de øvrige miljøområder såsom FN's biodiversitetskonvention, som behandles på årlige COP-konferencer på samme måde som klimakonventionen.

### Hvad skal vi vælge?

I det eksempel præsenteret her (tabel 2, side 17) er resultatet entydigt med hensyn til, hvilket alternativ der giver den største miljøpåvirkning, og dermed fravælges. Det er basissystemet med termisk sprøjtemetallisering (TSM). Hvilket af alternativerne med zinkepoxy eller zinksilikat der vælges, vil ikke være begrundet i den miljømæssige bæredygtighed, da der ikke er meget forskel, men i praksis mere baseret på erfaring og håndtering hos dem, der laver specifikationen og dem, der skal udføre malingspåføringen.

### Midpoint eller endpoint?

I stedet for at analysere på midpoint som ovenfor kan vi benytte den samme metode, men karakterisere mod det egentlige mål (endpoints). I realiteten er formålet med bæredygtighed at beskytte naturen og mennesket uden at overforbruge ressourcerne, så vores efterkommere får samme muligheder for at opfylde deres behov, som vores generation har.

Anvendes de samme processer og mængder til at påføre de tre alternative

malingsystemer på havvindmølleårnene, men analyseres der i stedet mod endpoints, fås resultaterne som ses i tabel 3.

Menneskers sundhed er her opgjort i DALY (Disability-Adjusted Life Year). Det er summen af de leveår, der er gået tabt på grund af for tidlig død og de år, der leves med et handicap på grund af miljøbelastningerne forårsaget af påføringen af malingsystem på 1 kvadratmeter havvindmølleår. Ressourceforbruget er opgjort i penge (US\$ 2013), mens naturens helbredstilstand er opgjort i antal arter (planter og dyr), som forsvinder i en vis periode som en konsekvens af påføringen af malingsystem på 1 kvadratmeter havvindmølleår.

Dette giver et enklere beslutningsgrundlag for at vælge eller fravælge et alternativ ud fra den miljømæssige belastning. Usikkerhederne på resultaterne er klart større, end da vi benyttede midpoint-kategorierne, men som beslutningstager er det muligvis lettere at foretage et valg, da der er færre parametre at tage hensyn til, og som i dette tilfælde giver det samme resultat.

Målet er at sikre, at udviklingen går i en mere bæredygtig retning.

E-mail:

Mads Juhl: madju@dtu.dk

### Referencer

1. ISO 14044-2008, "Environmental Management-Life cycle assessment-Requirements and guidelines." 2008.
2. M. Juhl, M.Z. Hauschild, and K. Dam-Johansen, "Sustainability of corrosion protection for offshore wind turbine towers," *Prog Org Coat*, vol. 186, p. 107998, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.porgcoat.2023.107998.
3. "Wind turbine generators Surface treatment of wind turbine towers - Industry standard | Megavind." Accessed: Nov. 08, 2022. [Online]. Available: <https://megavind.winddenmark.dk/publications/wind-turbine-generators-surface-treatment-of-wind-turbine-towers-industry-standard>.
4. M.A.J. Huijbregts *et al.*, "ReCiPe 2016 A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization," Bilthoven, the Netherlands, 2016.
5. "The Paris Agreement UNFCCC." Accessed: Dec. 14, 2023. [Online]. Available: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>.