

Bæredygtighed i havvindmølleudbud



Ændringsliste

Ver	Dato	Beskrivelse af ændringen	Revideret	Godkendt af
2	12-01-2023	Svaret på at kommentarer	August Holck Olrik	Peter Munk

Sweco Danmark A/S
Projekt
Projektnummer
Kunde
Ver
Dato
Udfærdiget af
Dokument reference

CVR nr. 48233511
 Energy Island North Sea
 41001708
 Energistyrelsen
 00
 15-12-2022
 Peter Munk
 atr-gr70-001 bæredygtighed i havmølleudbud v10

Indholdsfortegnelse

1.	Forventninger til CO ₂ e reducere frem mod 2030- summary	5
1.1	Indledning	5
1.2	Hvad tendens har udviklingen ifølge markedsaktørerne	8
1.3	Hvor bevæger udviklingen sig hen	9
1.4	Metoder til CO ₂ e opgørelse	9
1.5	CO ₂ e niveauer (S1)	11
1.6	Totale mængde (S2)	13
1.7	Andre ideer	15
1.8	Konklusion	16
2.	Grundlag og Afgræsning	18
2.1	Grundlag	18
2.2	Afgræsning	18
3.	Stålindustrien	20
3.1	Nuværende forhold	20
3.2	Stålindustriens fremtid	21
3.3	Bekymringer i industrien	24
3.4	Mulige CO ₂ e krav til stål	26
4.	Betonindustrien	28
4.1	Nuværende forhold	28
4.2	Cement industrien om fremtiden	28
4.3	Bekymringer i industrien	29
4.4	Mulige krav til CO ₂ e til beton	30
5.	Grønt stål indflydelse på pris	31
5.1	Ændringen af stål pris på park niveau	32
6.	CO ₂ e procedure	34
6.1	Stål og cement	34
6.2	Svejsning	34
6.2	Transport	34
6.3	Totale mængde	34
	Appendix 1	35
	Figur og Tabel liste:	36
	References	37

ATR-GR70-001 Bæredygtighed i havvindmølleudbud

1. Forventninger til CO₂e reducering frem mod 2030- summary

1.1 Indledning

Det vurderes, at stål- og betonindustrien hver især står for omkring 8% af verdens samlede CO₂e¹ udledning (IEA, 2020) (Jackson, 2021).

Danmark har med klimaloven sat sig ambitiøse mål om at skulle reducere sit CO₂e-aftryk med 70 pct. i forhold til niveauet i 1990, samt at opnå et klimaneutralt samfund senest i 2050. For at understøtte dette kan det overvejes at sætte bæredygtighedskrav i statslige udbud af havvind, som skubber industrien mod grøn omstilling, og bidrager til CO₂e reduktion ved udførelse af havvindmøllerne. Stålet vil dog ikke blive produceret i Danmark og derfor ikke regnes ind i Danmarks CO₂e udledning, men dette er et globalt problem.

Til det formål er det relevant at se på både produktionen, indkøbet af råmaterialer og genanvendeligheden af stål og beton i industriens cyklus. Det er samtidig relevant at have øje for, hvor i verden produktionen placeres afhængig af kravene til mængderne af genanvendt stål, samt krav til CO₂e reduktion samt transportmæssig logistik. Der skal derfor udarbejdes et simpelt system til at vurdere og beskatte den samlede CO₂e belastning, som udgør den samlede produktion, transport og forarbejdning af stål og beton.

Eventuelle krav til bæredygtighed i havvindmølleparker bør ske med respekt for udbud og efterspørgsel samt omstillingsparathed i de forskellige led i værdikæden. Det skyldes, at det primære input for at omstille stål- og betonindustrien er grøn strøm, og havvindmølleparkerne har i forvejen en meget kort CO₂-tilbagebetalingstid. Øgede krav til bæredygtighed i havvindmølleparker øger omkostningerne og lægger pres på leverandørkæderne. Dermed øges også risikoen for, at parkerne enten forsinkes eller slet ikke etableres. Eventuelle krav bør derfor tilpasses, så markedet kan følge med i en omstillingsproces, samtidig med at der skubbes til producenter og leverandører. Så omstillingen til mere grønne metoder for produktion og distribution af råmaterialer eller færdigbehandlede stålplader eller beton sker hurtigst muligt. For havvindmølleparker, der skal stå færdige i 2029-2030, skal de nødvendige materialer til produktion af havvindmøller og komponenter være tilgængelige nogle år i forvejen for at give tid til selve produktionen af komponenter og møller og til den efterfølgende installation. Det lægges til grund i analysen, at de grønne materialer, der skal anvendes, skal være tilgængelige i år 2026, for at kunne anvendes til parkerne. Det skal derfor tages højde for at det grønne stål marked ikke er så stort. Det forventes nemlig at efter 2030 at grønt stål marked vil være væsentligt mere udviklet, end det er i dag.

I denne rapport belyses resultaterne af interviews med otte virksomheder, der indgår i vindmølleindustrien. Det belyses, hvad der skal til for at få en grønnere produktion af stål og beton for at fremme denne omstilling i de respektive

¹ CO₂e er en forkortelse for CO₂-ækvivalenter og er den enhed som global opvarmning (GWP – Global Warming Potential) måles i uafhængigt af hvilken drivhusgas der er tale om

sektorer, og hvilke omkostninger der er forbundet hermed. Herunder indgår selve produktionen af råmaterialer samt værdikæden fra producent, forarbejdning og til færdig mølle med hovedfokus på mølletårne og fundamenter. En realistisk tidshorisont for omstillingen belyses også ud fra bedste bud fra industrien. Hovedkonklusionen beskrives i de tre hovedemner: CO₂e opgørelse, stålindustrien og betonindustrien.

Der gives tre bud på, hvordan CO₂e kunne indgå i udbuddet. Den ene er ved at lægge CO₂e-niveauer på udvalgte materialer. Den anden er, at byder byder ind med en CO₂e udledning på udvalgte materialer og det rangeres ligesom prisen.

1.1.1 CO₂e opgørelse

CO₂e opgørelse for hele levetiden af et produkt er ikke standardiseret fuldstændig endnu. Det ses dog, at overordnede retningslinjer er ved at danne sig på europæisk plan. Vi pointerer, at det er vigtigt med en simpel metode for udbuddet både for udbyder og modtager. En for kompliceret CO₂e-opgørelse kan forlænge processen. Den kan derudover være vanskelig at tredjepartsgodkende. Forskellige materialer kan have forskellige krav, men med 20.000 underleverandører til en vindmølle kan CO₂e-regnskabet blive enormt kompliceret, hvis alt skal tælles med, såsom transport til arbejde for medarbejdere. Der bliver forslået i rapporten kun at kigge på stål, cement og transport af disse materialer.

1.1.2 Stålindustrien

I afsnit 3 Stålindustrien bliver der beskrevet nuværende stadie for branchen samt udfordringerne og muligheder for stålindustrien. En kort gengivelse er givet herunder.

Der bruges i omegnen af 2.3 ton CO₂e per ton stål i et vindmølletårn, hvor omkring 80% af udledningen kommer fra omdannelsen af malm til jern. Det kræver milliardinvesteringer at omlægge stålværker fra fossile energikilder til grønne energikilder. Med den lille, men stigende efterspørgsel, er der mange, der venter med disse investeringer. En anden mulighed er at bruge genbrugstål til at erstatte efterspørgslen på "grønnere stål" til vindmøllebranchen. Der er simpelthen ikke nok genbrugstål, og der ses allerede en stigende efterspørgsel. Ved at stille krav om anvendelse af grøn stål i havvindmølleparker, vil der blive skubbet yderligere til efterspørgslen af grønt stål.

CO₂e udledningen kan halveres ved at bruge elektrisk lysbueovn (EAF – Electrical Arc Furnace) i stedet for højovn (BOF – Basic Oxygen Furnace), som bruger fossile brændstoffer. Med flere forskellige tiltag kan udledningen dog mindskes endnu mere.

Baseret på den dialog vi har haft med vindmølleindustrien samt rapporter, så er den grønne omstilling i stålindustrien så småt ved at tage fat, men inden for vindmølleindustrien er der ikke et marked for grønt stål i dag. Da næsten alle udviklerne ikke selv stiller det som krav til producenterne. I bilindustrien ses der en stigende efterspørgelse på grønt stål. Ved at stille krav i forbindelse med udbud kan der skubbes til omstillingen.

Der er taget tiltag for at lave grønt stål. Så det forventes, at det kommer med tiden. Fra interviews og læste rapporter er der en formodning om, at i omkring 2030, vil nogle stålproducenter i Europa have omstillet produktionen, så der kan

leveres grønt stål. For havvindmølleparker, der skal være etableret i 2029-2030, vil materialerne dog skulle være tilgængelige nogle år i forvejen, for at give tid til selve produktionen af komponenter og møller samt den efterfølgende installation. Det lægges til grund for analysen, at materialerne skal være tilgængelige i 2026, for at de er relevante for etableringen af de pågældende havvindmølleparker. Der vil være grønt stål allerede i 2026, men i begrænsede mængder.

Såfremt der er ønske om at stille krav om anvendelsen af grønt stål og beton i havvindmølleudbud til etablering i 2029-2030, er mulighederne derfor begrænsede. Den grønne ståludvikling er størst i Europa. Genbrugsstål er stort i USA. Nogle vindmølleproducenter ville kunne byde ind med større mængde genbrugsstål i deres tårne og fundamenter, men grønt stål lavet på el eller hydrogen vil være begrænset. Der er fire stålproducenter, vi er opmærksomme på, der måske ville kunne levere nyt grønt stål fra 2026, hvoraf to ikke fokuserer på pladestål, men i stedet mindre produkter og især bilindustrien. Ørsted har lavet partnerskab med Stalgitzer, som har en strategi for at reducere deres CO₂e-aftryk på det stål de producerer med 30% i 2025 og 95% i 2033. Dillinger har for nylig fået investeringer på 3.5 milliarder euro i grønt stål, som skal være klar i 2027, og som ville kunne bruges til offshore vindmøller. Der kan være flere, der er ved at lave disse investeringer, som vi ikke er bekendt med.

Vindmølleproducenter, der skal source grønt stål i 2026, vil derfor højst sandsynligt godt kunne finde en begrænset mængde grønt stål og formentlig kunne supplere med lidt genbrugsstål. Bemærk dog, at i vores interviews med vindmølleindustrien, tror de ikke på, at genbrugsstål er en holdbar løsning for at reducere CO₂e i vindmøllebranchen.

Angående pris vurderes det at grønt stål bliver omkring 1000 til 5000 DKK/t dyrere end sort stål. En af vores kilder anslår dog kun en prisstigning på 500 DKK/t. Sort stål udleder 2.3 ton CO₂e pr ton stål. På Tabellen herunder kan det ses at det er kun hvis stål prisen stiger med maks. 1000 DKK/t og det stål samtidig reducere CO₂e udspilning med mere end 50%, før det kan betale sig forhold til en CO₂e kvote pris på 868 kr. I Afsnit 5 kan effekten af en prisstigning på stålet ses i sammenhæng med hele vindmølleparken. Der kan det ses at en 20% stigning i stål prisen til Tårne og fundamenter vil øge CAPEX med 1.6 til 2.7%.

Tabel 1: PS= Pris Stigning. Tabellen sammenholder en forventet prisstigning med forskellige CO₂e reduktioner. De grønne tal er, de scenarier hvor det godt kan betale sig i forhold til en CO₂e kvotepris på 868 DKK.

reduktion %	Sparet [CO ₂ e/t]	PS 500 [DKK]	PS 1000 [DKK]	PS 2000 DKK	PS 3000 DKK	PS 4000 DKK	PS 5000 DKK
90	2.07	242	483	966	1449	1932	2415
80	1.84	272	543	1087	1630	2174	2717
70	1.61	311	621	1242	1863	2484	3106
60	1.38	362	725	1449	2174	2899	3623
50	1.15	435	870	1739	2609	3478	4348

At sætte krav til stålet, vil dog have andre værdier. Det vil det skubbe stålproduktionen mod Europa. Derudover sende en signalværdi om at man gerne vil af karbonisere Offshore vind branchen, hvilket vil få producenter til at tænke i grønne løsninger.

Hvis der arbejdes videre med krav til grønt stål og beton foreslår SWECO, at kravet fastsættes til imellem 1.6 og 1.9 ton CO₂e/t, som vi vurderer, er realistisk i 2026. Til sammenligning forventer Vestas omkring 1.9 ton CO₂e/t i 2026, hvilket kan ses på Figur 0-6 og Stalgitzer forventer 30 pct. reduktion, hvilket svare til omkring 1.6 ton CO₂e/t. Tabellen herunder er vores bud på CO₂e-belastningen i 2026. Reduktionen kommer i forbindelse med nye stålværker, der bruger grønt brændsel og eventuelt supplement af genbrugstål. I 2030 vil flere stålværker være klar til at producere grønt stål. I 2030 er man nået væsentligt længere, og kravene kan derfor sættes ned. For vindmøller, der skal bygges i 2035, kan man formodentligt købe CO₂e-neutralt stål.

Tabel 2: Ton CO₂e pr ton stål i 2022 og hvad vi vurderer spændet ligger på i 2026.

	2022	2026	2030
Ton CO ₂ e pr ton stål	2.3	1.6 – 1.9	0.6 – 1.5

1.1.3 Betonindustrien

For betonindustrien er der teknologier, der gør det muligt at reducere CO₂e udslippet relateret til selve betonproduktionen markant. Der ses dog en mangel på efterspørgsel for grøn beton, før det er økonomisk rentabelt for firmaer at investere i den grønne omstilling, selvom omkostningerne ikke er markante, hvis en mindre del af produktionen skal omlægges. Ligesom for stål bruger cementfabrikation store mængder energi. Hvis hele Aalborg Portlands produktion skulle foregå ved biogas i stedet for fossile brændstoffer, skulle de bruge ca. 80% af alt dansk biogas. Omstillingen til grøn beton bliver derfor nødt til at ske løbende, da energiinfrastrukturen skal følge med. Det vurderes, at den hurtigste måde at skubbe til en grøn omstilling er ved at øge efterspørgslen på grøn beton. Reduktionen er på baggrund af øgede mængder grønt brændsel, mindre kalk i cementen og carbon capture.

Tabel 3. Bud på CO₂ belastningen for cement i 2022 og 2030 For 2022 er kilden (Aalborg Portland, u.d.).

	2022	2026	2030
ton CO ₂ e pr ton cement	0.7-0.9	0.3-0.4	0.03-0.3

1.2 Hvilken tendens har udviklingen ifølge markedsaktørerne

Der ses en tendens til, at europæiske firmaer har en bæredygtighedsplan for at reducere CO₂e udslippet markant over de næste 10 til 30 år. Nogle firmaer mener dog, at når de bygger infrastruktur, der fremmer den grønne omstilling, behøver deres produkter ikke at være grønne. Hvilket tyder på, at der stadig mangler en grøn indstilling hos nogle fabrikanter. Dette kan løses ved at stille krav til leverandørerne indirekte via projektejerne.

1.3 Hvor bevæger udviklingen sig hen

Hvis der kommer en større efterspørgsel, er vores bedste bud, at industrien er klar til at investere i grønne tiltag. Som nævnt tidligere tager denne omstilling tid, da der er tale om langsigtede investeringer. Vi forventer ikke det store udbud af grønt stål på markedet i 2026, først omkring 2030 og derefter. Der ses

dog en stigende forventning i industrien om, at der snart kommer CO₂e krav til vindmølleparker. Det kunne vi både forstå i vores interviews men også læse om i nyheder (enten Dansk Energi, Dansk Solkraft eller Wind Denmark, u.d.).

Asiatiske producenter er endnu ikke begyndt omstilling af produktionen qua at krav om bæredygtighed, cirkularitet og CO₂e-fortrængning ikke er et krav til udbud i denne del af verden og eksporten til Europa. Der kan dog forudses en mindre del af den asiatiske produktion kan omlægges til grønt stål efter 2030. Dette kan accelereres med øget CO₂e-beskatning på import af pladestål og færdige elementer til EU-markedet. Derfor forventer vi, at det bliver mere rentabelt at producere grønne produkter, hvilket er det, der skubber udviklingen.

Vi ser derudover flere bæredygtighedskrav til nye vindmølle udbud, hvilket også skubber til en grøn omstilling.

Der er derudover forskning i at skifte stålet i vindmølletårn ud med komposittræ. Det vil reducere CO₂e, men genanvendelsesgraden er meget mindre. Indtil dette er en reel løsning, bør der ikke sættes krav til det, men det kan evt. være en mulighed i fremtiden. Man kunne sætte krav til CO₂e-udledningen på tårn-materialet i stedet for stålet for at muliggøre sådan en løsning.

Der er også muligheder for at levetidsforlænge projektet. Hvis projektets levetid kunne fordobles med en mindre investering, vil CO₂e-aftrykket omtrent kunne halveres (med antagelse om relativt små levetidsforlængende udbedringer, som ikke giver anledning til CO₂e-udledning af betydning). Der er relativ få parker, hvis levetid er nået på dette tidspunkt, men om 5 år vil der være mange flere, og grundlaget for levetidsforlængelse vil være meget bedre på det tidspunkt. Det tyder dog på, at der er mulighed for mange års ekstra levetid i de danske vindmølleparker. Levetid hænger i høj grad sammen med kvaliteten af maling af svejsninger.

1.4 Metoder til CO₂e opgørelse

Figuren herunder viser tre metoder, der kan bruges til at få bæredygtighed ind i hav vindmølleudbuddet.



Figur 0-1: Metoder til at få bæredygtighed in i udbuddet. Med materialer menes der cement, stål og deres transport. CO2 bod anbefales umiddelbart CO2e kvoteprisen, men kan sættes højere, hvis man vil sikre grønnere tiltag.

Fordele ved S1: S1 sikrer, at der kommer nogle grønne bud. Der kan nemt skrues på, hvor ambitiøs man vil have budde. Det er tydelige krav.

Ulemper ved S1: Niveauerne for udledning på materialerne kan være svære at sætte uden at skubbe til prisen. Det kan være, at et 0 bud ikke længere vil være muligt. Den totale CO2e-udledning bliver der ikke taget stilling til, og man ved derfor ikke, om det bud med den laveste totale CO2e mængde er det projekt, som man har valgt. Derudover bliver der kun tænkt grønt på materialevalg ikke design/konstruktions valg.

Fordele ved S2: Ved S2 bevæger man sig væk fra, hvor meget 1 ton stål udleder, i stedet ser man på den totale mængde CO2e. Den totale mængde CO2e, burde være det vigtigste for projektet. Ved at se på den totale mængde CO2e, kan byder også optimere på mængderne af stål. Hvis der er stor betalings villighed for at opsætte møllerne, giver S2 også muligheden for, at byder kommer med bedst mulig løsning, for at reducere CO2e, og derved give et bedre bud end konkurrenterne.

Ulemper ved S2: Budene er måske ikke ambitiøse nok. Det kan dog løses ved at give flere points til bæredygtighedsdelen. Det kan være svært for byder, at give et præcist bud, idet fundamentet størrelse kan variere meget. Det vil skabe mere usikkerhed i budde. Det kan løses ved at sætte et relativt fundament dybde på eksempelvis 30m. Fundamentet under 30m tæller herved ikke med i CO2e regnskabet. For at vurdere hvor meget man har sparet, skal man finde et referenceprojekt, eller sammenligne bundne imellem.

Fordele ved S3: S3 er en blanding af S2 og S1. I S3 byder man ind med en CO2e udledning på materialerne som modsætning til S1 hvor kravene er fastsat i udbuddet. I S3 byder man ind kun med materiale faktoren hvorimod der kun bydes ind med Dette mindsker usikkerheden for byder. Fordi det er nemmere for byder at byde ind på materiale koefficienter idet designet ikke er fastlagt.

Ulemper ved S3: Der bliver ikke tænkt grønt i konstruktions forslag kun i materialevalg. Man ved ikke, om det er den grønneste løsning, som man

vælger. Budene kan være uambitiøse. Man sikrer heller ikke, at det mindst udledende projekt for flest points, idet dem med bedste materiale-egenskaber kan have brugt flere materialer end andre.

Generelle overvejelse for krav sætning: Hvis der er stor betalingsvillighed, kan byder komme med meget lave CO₂e-bud, for at få de 10 point og så bare betale bøden. Det vil være imod hensigten, som er at reducere CO₂e-udledningen og ikke give mulighed for at komme under et 0 bud. Det vil aldrig kunne betale sig for byder at komme med løsninger, hvor det koster mere pr ton CO₂e end afgiften på CO₂e, fordi ellers kan de bare betale bøden i stedet. Man kan sætte en højere bøde, eller den kunne skalere jo mere man afveg. Der kunne også sættes en ramme for at stålet skulle mindst udlede 0.7 CO₂e/t og maksimalt udle 1.8 CO₂e/t som eksempel for at forhindre byder i at komme med for kreative forslag, der udnyttede systemet og samtidig sikre sig at der kom grønne tiltag. Dette bliver derved en blanding mellem krav og bud.

For at mitigere at de bare betaler bøden og ikke kommer med grønne løsninger, skal strategien dokumenteres for hvordan de har tænkt sig at opnå eventuelle CO₂e krav på materialer. I budet forventes der estimat of udledning pr ton stål og beton også samlede mængder beton og stål. Derudover en strategi for hvordan de har tænkt sig at fremskaffe materialer, med givende CO₂e-udledningsværdier. Hvis strategien for CO₂e reducere ikke er realistisk, kan der give færre points for bæredygtighed end hvad deres bud egentligt er på. I vores interviews med mølle producenter, var de interesseret i at udvikle grønne metoder. Det virker også som en kortsigtet løsning at betale CO₂e afgifter som bøder, i stedet for at lave grønne løsninger. Vindmølle fabrikanter brander sig derudover ofte på bæredygtighed, så der forventes en velvilje til at få det inkorporeret i udbuddet. De så meget gerne dette blev en fast del af udbuddet, og var bekymret hvis det blev en engang ting.

1.5 CO₂e niveauer (S1)

Denne sektion er en kort opsummering af anbefalingerne i sektion 4 og 5.

1.5.1 CO₂e anbefaling til stål

Hvis der er ønske om, at stille krav til anvendelse af bæredygtige materialer i havvindmølleparker foreslår SWECO, at man sætter krav til **stål og transport** for simplificering, og ikke har krav til hele vindmøllen i hele levetiden. Idet det bliver for stort et arbejde at udføre og kontrollere udledningen for hele vindmøllens levetid. Der kommer derudover til at indgå mange antagelser, som bliver misvisende. Med stål menes der stål til fundamenter, tårne og transition pieces (TP).

I tabellen herunder ses de CO₂e-niveauer, som vi vil anbefale på stål og transport af stål, hvis der er ønske om at arbejde videre med krav om anvendelse af grønt stål. Jo større en del af parkerne, der stilles krav til, jo bedre vil det kunne betale sig for producenterne at investere i grønne løsninger, herunder hvis også det fastholdes i de fremtidige statsudbud. Jo større mængde havvind kravet vedrører, desto større er risikoen dog også for, at markedet ikke kan levere de pågældende mængder og dermed risikoen for forsinkelser. En vindmølleproducent bemærker, at såfremt bæredygtighed

indarbejdes i et udbud som tildelingskriterie skal det mindst tælle 10% af udbuddet, hvis det skal tages seriøst. Hvor stor vægt bæredygtighed evt. tillægges i et havvindudbud, afhænger dog i sidste ende af betalingsvilligheden fra staten. Jo større vægt bæredygtighed tillægges, jo større investeringer vil byderne lægge i at levere på tildelingskriteriet på bekostning af betaling til/støtte fra staten. Tabellen findes også i sektion 3.5 med uddybende tekst. Tabellen er en trappeløsning, til materialekravene fra metode S1 nævnt tidligere. I stedet for at sætte et krav til udledning på CO₂e til stål, kan der sættes et graderet krav delt ud på de 9 GW, der skal bygges, for ikke at suge markedet tørt for grønt stål og udelukke bydere, der har svært ved at købe grønt stål.

Tabel 4 viser, hvilket krav vi ville stille til CO₂e /t for stål og svejsning og transport. Procentsatsen er sat i forhold til de i dag 2.6 CO₂e /t for monopæle og tårne.

	Monopæle og Tårne (t CO ₂ e /t)	Monopæle og Tårne % ændring
1-3 GW	1.6	33
4-6 GW	1.75	27
7-9 GW	1.9	21

Det anbefales ikke, at alt stålet, der skal bruges, er under de viste krav i **tabel 3**, men det samlede gennemsnit af stålet er under kravet. Det giver større fleksibilitet til de bydende ift., hvordan de vil løse udfordringen med grønt stål. Hvis alt stål skal være grønt, kommer det til at presse prisen meget. Nogle producenters strategi kunne være at bruge 1/3 grønt stål, 1/3 genbrugstål og 1/3 sort stål ved 5-6 GW. Ved de andre GW kunne de så justere deres procent satser. Hvis deres grønne stål har en udledning på 0.4 CO₂e/t udledning, og de kun kan bruge det, giver det ikke nogen mening at have forskellige krav til forskellige GW.

Der var stor afvigelse i producenternes fokus på genbrugstål. Der var ingen der forventede, at der ville være nok genbrugstål til, at det vil være en standardløsning. Det anbefales derfor, at der ikke sættes krav til genbrugsstål i fundamenter og tårne. Det kan være en metode, som producenterne bruger til at af-karbonisere deres stål på, men fordi det ikke er en fuldstændig løsning, vurderes det hensigtsmæssigt at lade det være op til producenterne.

Der er store usikkerheder (så som mulighed for investeringer i nye produktionsanlæg, overgang til VE energi i de lande der producerer stålplader, at der stilles krav fra statsligt hold til reduktioner i emissioner) forbundet med udbuddet af grønt stål i 2030 og prisen derefter. Det er et produkt, der næsten kun findes ved genbrugstål i dag. Prisen forventes at stige i spændet mellem 1.000 til 5.000 kr. pr ton stål, hvis man skal købe det inden 2030, sammenlignet med 2020. Prisen har set store udsving, ud fra vores interview kan vi estimere en pris på sort stål til vindmølle på omkring 11.000 DKK/t før Ukraine krigen til omkring 12.000 kr priser efter krigen. Der er generelt store udsving i pris estimerterne, fra forskellige kilder. Det forventes at prisen på grønt stål bliver billigere med tiden, idet industrien er så ny. En analyse af hvor stor indflydelse

stålprisen har på mølleniveau, kan ses i afsnit 5. Resultatet for afsnit 5 kan ses i tabellen herunder. Tabellen estimerer effekten af en øget stålpris har på park niveau. Hvis prisen på stål fra tårne, fundamenter og TP stiger med 10%, vil det give en 1.1% stigning i prisen på CAPEX, ud fra antagelserne om at stål fra tårne, fundamenter og TP svare til omkring 12% prisen. Vi har lavet to estimater. Et hvor stål fra tårne, fundamenter og TP svare til 12%, og et hvor det er 17%. Det dækker det leje vi finder realistisk ud fra in house og eksterne datakilder.

Tabel 5 viser procent stigningen af omkostningerne ved en ændring på stål prisen af stål for tårn, fundament og TP. Scenarie A er monopæle og TP pris 12% af CAPEX. Scenarie B er monopæle og TP pris 17% af CAPEX.

Ændring i stål pris %	10%	20%	30%	40%	50%
Ændring i CAPEX % (A)	1.1	2.4	3.7	5.0	6.3
Ændring i CAPEX % (B)	1.6	3.4	5.2	7.0	8.9
Totale omkostninger % (A)	0.5	1.2	1.9	2.6	3.2
Totale omkostninger % (B)	0.8	1.8	2.8	3.7	4.7
LCOE % (A)	0.76	1.67	2.60	3.53	4.45
LCOE % (B)	1.15	2.46	3.77	5.09	6.41

1..5.2 CO2e anbefaling beton

I tabellen herunder er de krav, der forventes at opnås i 2026. Det er hvis der bruges grønt brændsel, mindre kalk og karbonfangst. Aalborg Portlands målsætning, ifølge deres hjemmeside, er 0.3 ton CO2e /t i 2030. Det kan komme endnu længere ned, hvis efterspørgslen stiger, og med investeringer i karbonfangst fra firmaer som "carbon clean" (carbon clean, u.d.) burde 0.03 ton CO2e /t. være teoretisk muligt. Spændet ligger derfor mellem 0.03 og 0.3 ton CO2e /t. Vi vurderer, at karbonfangst på 90% er optimistisk, og 0.2 ton CO2e /t er et realistisk leje. Hvis der kommer en øget efterspørgsel på grøn beton, tror vi, at den industri kan rykke hurtigere end stålindustrien, da produktionspotentialet i fabrikkerne hurtigt kan øges. Grundet antagede små mængder, der skal bruges i forhold til stål, giver det ikke mening at graduere betonkravet, og vores betonkilder indikerer en stærk plan for CO2 reducering.

Tabel 6 Ton CO2e pr ton cement i 2022 og hvad vi vurderer spændet, ligger på i 2026 inklusiv transport.

	(ton CO2e/t)	% ændring
1-10 GW	0.4	54

1..6 Totale mængde (S2)

Den totale mængde CO2e kan opgøres ved at regne den gennemsnitlige materialefaktor for stål og transport af stål, og gennemsnitlige for cement og transport af cement. Derefter ganges det tal med den totale mængde stål eller

cement. Stål og cementkomponenten ligger derefter sammen. Se eksempel neden under (mængderne er meget små for at gøre betragtninger simple, og tallene har fået farver for at kunne følge deres oprindelse).

Eksempel

Den bydende melder ind med en samlet CO₂e-udslip i ton for projektet.

Der skal ved start af etablering af projektet ligge dokumentation for CO₂e-udledning af stålet i form af en EPD.

Byder xx vælger at bygge monopæle og skal bruge 4 t.

Byder bruger 3 typer stål og 1 type cement.

1 t grønt stål sejles 2000 km. Det har en samlet udledning på 0.4 ton CO₂e/t.

2 t genbrugstål som er sejlet 3000 km har 0.85 ton CO₂e/t.

1 t sort stål der er sejlet 1000 km har 2.3 ton CO₂e/t.

0.2 t cement der sejles 100 km har 0.25 CO₂e/t.

Den gennemsnitlige udledning for stål er $(0.4 \cdot 1 + 0.85 \cdot 2 + 2.3 \cdot 1) / 4 = 1.1$ CO₂e/t. Denne kombination kan derfor bruges til at bygge 3-4 GW udbuddet samt de GW der har mindre skarpe krav.

Den gennemsnitlige mængde for cementen er 0.25 CO₂e/t

Det samlede mængde CO₂e for hele projektet er $1.1 \cdot 4 + 0.25 \cdot 0.2 = 4.45$ ton CO₂e.

4.45 ton CO₂ er det samlede udslip for projektet, som bliver rangeret i forhold til de andre bud.

Hvis dette mål opnås efter, at parken er blevet bygget, er den godkendt. Hvis det ikke opnås, træder følgende mekanisme i kraft.

Den afvigelse der er i forhold til det, der er beskrevet i kontraktmaterialet, belægges med en afgift. Afgiften kan sættes på niveau med CO₂-afgiften på det tidspunkt, hvor parken afleveres. CO₂e udslippet fra materiale og transport bevises, som beskrevet i afsnit 6., med EPD'er og EN 16258.

Byder viste sig at bruge 5.45 t CO₂e samlet, og skal derved betale CO₂e afgift fra den sidste ton CO₂e. Med en afgift på 1125 kr/ton CO₂e bliver det en bøde på 1125 kr.

Der skal selvfølgelig ikke kun bruges 4t til en GW, men nærmere 170.000 t stål. Hvis byder tror de kan få stål til en CO₂e/t til 1.7 ton CO₂e pr tons stål, og derved undslipper $170.000 \cdot 1.7 = 289000$ t CO₂e, men regner forkert, og bruger 10% mere CO₂e. Så skal de betale CO₂e afgift for 28900 t CO₂e, hvilket vil koste ca. 33 mio dkk. Dette er bare eksempeltal.

For at gøre usikkerheden mindre kan man gøre to ting.

- Man kunne sætte ind, at det kun er den halve CO₂e afgift på de første 5%, der bliver regnet forkert.
- Fundamentsdybden er den store ubekendte for byder. Der kunne derfor sættes en relativ dybde på eksempelvis 30m, for at skabe tryghed. 30 m er den dybde man skal regne sin CO₂e udledning til. Alt under 30m tæller ikke med. Der skal dog bruges det samme udledning

for stål under 30m som over. Dette ville også skabe mindre usikkerhed for byder.

1..7 Andre ideer

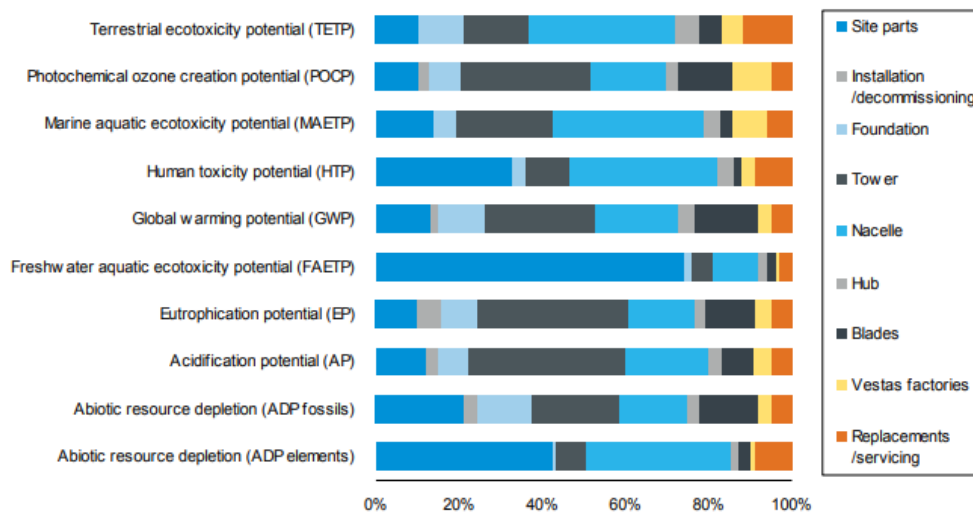
Svejsninger

Svejsninger på mølletårne udgør ca. 10% af CO₂e udslippet i dag. For jackets kan det være op til 30%. Det er møllefabrikanterne, der svejser tårne, men mølleproducenterne, der køber stålet. For at holde det simpelt er svejsninger ikke indtaget i CO₂e-regnskabet i denne rapport, men kun stål, cement og transport af disse materialer. Svejsninger kan med fordel tages med ind i de senere vindmølleparker. Der er derudover en interesse for danske tårnfabrikanter, at svejsningerne bliver lavet lokalt. Vores indtryk er, at det vil være svært for tårnfabrikanter (dem der svejser og maler) at lave en EPD på en konkret ordre. Der kunne derimod ses på selskabernes totale udledning på et år eventuelt ved brug af scope 1,2,3. (Det kunne begrænses til scope 1 og 2). Deres årlige udslip kunne divideres med deres totale eksport i ton af tårne ganget med vægten på tårnene til dette konkrete projekt for at gøre det projektspecifikt. SWECO har dog ikke undersøgt, om en sådan metode vil være udbudsretligt mulig.

Andre metaller og enheder

Der er ikke undersøgt CO₂e påvirkning af andre metaller, men nævnt fra vores kilde.

Der kan også spares CO₂e på andre metaller. Andre metaller CO₂e påvirkning er ikke undersøgt i denne rapport. Enten skal det ikke tages med ellers kan det være rangordning. En mulighed kunne måske være, at byder opgiver volumen af metaller i nacellen, samt deres CO₂e-belastning. Der kan også udvælges specifikke metaller. Figuren herunder er fra Vestas LCA rapport af V90-2MW land mølle. Figuren viser miljø-belastninger. Den interessante i dette tilfælde er Global Warming potentil. Fundamentet har meget større betydning offshore end på land, som er hvilket figuren vises for.



Figur 0-2: Belastning fra Vestas V90-2MW land mølle.

1.8 Dokumentation for CO₂e-udledninger

Hvis der formuleres konkrete krav om CO₂e-udledninger fra grønt stål og beton, skal der udvikles en model for at kontrollere, at leverandørerne leverer det, de lover. SWECO anbefaler at vinderen afleverer EPD (Environmental product declaration) på deres materialer når havmølleparken står færdigt. Dette anbefales selvom der ikke skulle stilles nogle krav til CO₂e. Hvis muligt kan de sende EPD'er med i budet for mulige materialer de kunne bruge. Eller beskrive hvordan et materiale udledning i en given EPD, ville kunne reduceres og derved ligge til grund for deres CO₂e reducere. Dette kunne være en EPD på noget stål, hvor at producenter er ved at omlægge deres anlæg. Der er derfor forventninger til den fremtidige udledning, med et god grundlag. Mange stål og cement fabrikker har allerede EPD, på deres materialer. EPD skal tredjeparts godkendes af udvalget kontrollanter. Hvilket sikre en hvis kvalitet. Dette er yderligere beskrevet i afsnit 6 CO₂e procedure.

1.9 Konklusion

Der er grønne planer og målsætninger i industrien, men grundet manglende efterspørgsel er den grønne omstilling i industrien ikke kommet ordentligt i gang i stål og cementindustrien. Energikrisen har skabt en økonomisk gevinst ved at blive uafhængige af fossile energikilder, hvilket skubber til en grøn omstilling. Grundet store investeringer i nye produktionsanlæg, som er nødvendige for en omstilling i stålindustrien til en mere bæredygtig produktion af både forarbejdning af jernmalm og valsning til plader, ser vi stadig tøven. Dog ser vi samtidig et stigende antal stålværker, der er begyndt at foretage disse investeringer.

Grundet den lange tidshorisont for alle GW i projekterne, kan det overvejes at gå forrest med at stille krav til CO₂e-udledning ved opførelse af havvind. Dette vil støtte den grønne omstilling i brancherne ved at bidrage til en øget

efterspørgsel på grønt stål og beton med statsudbuddene af energiøer og af havvindmølleparker, ved at der stilles krav til CO₂e-udledning. Der er givet vurdering af, hvor niveauet for CO₂e kunne sættes for de første udbud. Det danske marked kan ikke styre den grønne udvikling inden for industrierne, men den kan præge den. Med disse havvindmølleparker vil der være nogen grad af sikkerhed for afsætning af grønnere produkter ved udsigten til en væsentlig ordre, som venter i fremtiden. Dette vil give en sikkerhed og bedre understøtte en return-of-investment for virksomheder og producenter.

At stille øget krav til anvendelsen af bæredygtige materialer i havvindmølleparker er dog ikke uproblematisk. Det føjer ekstra omkostninger til parken, lægger yderligere pres på værdikæden og øger dermed risikoen for forsinkelser, og for at parkerne slet ikke kommer op.

Det skal ses i forhold til, at CO₂e-tilbagebetalingstiden på en havvindmøllepark i forvejen er meget kort, og at CO₂-gevinsten ved den ekstra omkostning kun i begrænset omfang vil understøtte de danske klimamålsætninger, da stål i væsentligt omfang produceres i udlandet. Der er derfor tale om en afvejning af fordele og ulemper.

Industrien er bedre til at finde på grønne løsninger end SWECO. Det er derfor vigtigt at have fleksibilitet i løsningerne til at nedbringe CO₂e, for at undgå høje priser. Der skal være gennemsigtighed i løsningerne, samt skarpe, præcise krav, så der ikke kan ske "Greenwashing".

Hvis der vælges at byde ind på materialefaktorer, bør der overvejes, hvor stor betydning grøn cement har i forhold til stål, idet der skal bruges langt mere stål end cement i de fleste fundamentstyper. Forskellen i anvendt cement og stål er alt for stor til at ligestille de to materialer.

Der blev præsenteret tre metoder til at inkorporere CO₂e i udbuddet. Enten hvor der sættes en maksimal udledning for materialer og transport - dette udbudsoplæg kaldes S1 på figur 1. Et andet udbudsoplæg er, hvor der bydes ind med en total udledning for materialer og transport kaldt S2. Det tredje og sidste udbudsoplæg er, hvor der bydes ind med maksimal udledning på materialerne. Alle muligheder har fordele og ulemper. Vi vurderer, at S2 eller S3 er den letteste måde at inkorporere bæredygtighed i budet. Dette vil sikre, at industrien kan følge med, og at prisen ikke bliver skubbet mere end nødvendigt.

Ulempen ved S2 og S3 er dog, at der indirekte sættes en pris på betalingsvilligheden for grønt stål og beton. Dette kan i sidste ende betyde, at der investeres meget store summer i grønt stål eller beton. Det kan overvejes, om dette kan håndteres via bodsregimet, da det ikke økonomisk er meningsfuldt at bruge flere penge på grønt stål og beton, end det CO₂e-bødeniveau, der sættes, som evt. kan sættes til CO₂e-afgiften – eller at der slet ikke investeres noget. Hvis der skal være sikkerhed for, at der leveres grønt stål eller beton i et eller andet omfang, skal det formuleres som et fast krav eller med en spænd, hvor der er maksimum- og minimumsudledning per ton stål bygget ind i S2 eller S3. Vi ser store energiselskaber som Ørsted og Vattenfall sætte ambitiøse CO₂e-krav, for deres egen virksomhed, men også de materialer de indkøber. Og vindmøllefabrikanter der er ved at tænke i grønne løsninger, vi ser derfor stort potentiale i at sætte bæredygtighedskrav.

2. Grundlag og Afgræsning

2.1 Grundlag

Information er indsamlet ved interviews med firmaer i eller leverandører til havvindmølleindustrien. Der er derudover inddraget artikler og anden offentlig tilgængelig information. Der er afholdt interview med:

Bladt – fundament producent

Valmont – vindmølle tårn

Siemens Gamesa- Vindmøller

Vestas – vindmøller

Celsa – armeringsstål til beton platforme og fundamenter

Aalborg Portland- cement til betonplatforme og fundamenter

Goldwind - vindmøller

Welltec – Carbon Capturere (ikke medtages i vurderingerne, da de kun er på planlægningsstadiet)

Kontaktede men ingen respons fra:

SSAB-Svenskt Stål AB- stål leverandør

SIF- fundamenter

GE- Vindmøller

Dajin Offshore- fundamenter

2.2 Afgræsning

I denne rapport er der ikke behandlet mulige nedsættelser af emissioner ved transport og installation. Der forventes stor af-karbonisering af skibstransport, men det er ikke noget, der er undersøgt nærmere.

Der er ikke undersøgt krav til armerings jern kun pladestål, da en havvindmølle har begrænset mængder armerings jern. Armerings jern bruges i store omfang i forbindelse med gravitations fundament, hvilket oftest ses på lavt vand. Der kan også bygges beton sekundære platforme, men det er heller ikke standard.

Genanvendelse af vinger er også vigtig, og et krav man har set på nye vindmølle udbud. Der bør klart også stilles krav til genanvendelse af vindmøllevinger, men det er ikke undersøgt i denne rapport. Siemens Gamesa

har i 2022, lavet en ny epoxy lim til deres vinger, hvilket gør det muligt at genanvende 90% af vingen.

Ved undersøgelse af pris har det ikke været muligt at gøre det projekt specifikt. Kun overordnede betragtninger er brugt. Pris beregningerne er derfor ikke givet direkte i tal, idet dette ikke er en undersøgelse i, om det er rentabelt at bygge vindenergi ved energiøen. Men en undersøgelse af hvor stor indflydelse stålprisen har på mølle niveau.

3. Stålintustrien

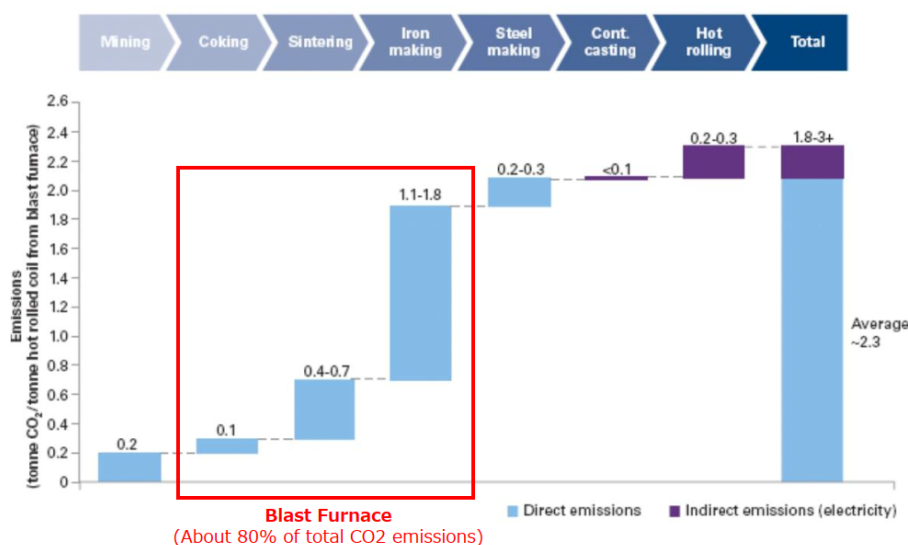
Dette afsnit omhandler de nuværende forhold, fremtidige forhold og bekymringer i stålintustrien ud fra vores interviews. Det er et begrænset antal på 7 interviews, der er blevet lavet, men det inkluderer vindmølle-, tårn- og fundamentproducenter til vindmøller. Dette afsnit går ikke i dybden med løsninger på at reducere CO₂e for stålproduktionen. Derudover fokuseres der udelukkende på pladestål.

3.1 Nuværende forhold

Ud fra vores interviews er det anslået at et vindmølle-tårn og fundament bruger i gennemsnit **2.3 t CO₂e pr ton stål (CO₂e/t)** i Europa uden transport. Hvis stålet er fra Asien, er det omkring 2 CO₂e/t grundet nyere stålværker. I USA er det omkring 0.9 CO₂e/t grundet større genanvendelses procent, og at der er en højere grad brug af elektriske højovne i stedet for kulfyrede højovne. Transport kan lægge 25% til CO₂e forbruget, hvis tårne bliver sejlet fra Asien. Der transporteres normalt ikke stål fra USA til EU.

For de europæiske tårne er ca. 2.1 CO₂e/t fra stålet og resterende 0.2 CO₂e/t fra svejsning og maling.

I stålproduktionen er det forarbejdningen af rå malm til jern, der er den største CO₂e udleder med op til 80% af CO₂e, der kommer fra den proces. Se grafikken herunder.

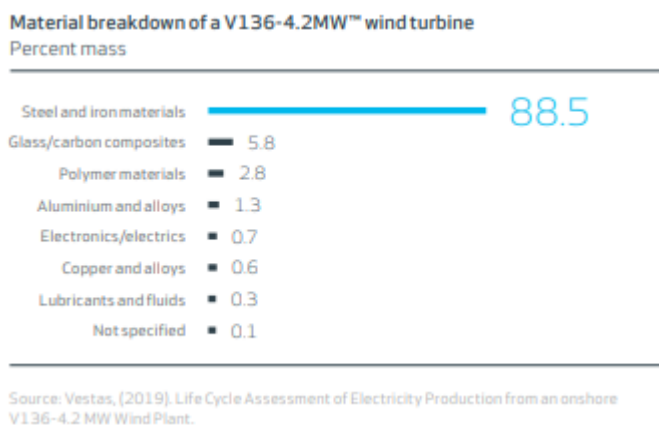


Figur 0-3 CO₂e udledning fra minen til stål. Ved brug af kul fyret højovn (CARBON TRUST, 2011)

Grunden til at jern produktionen er den største udleder er, at der skal bruges meget store mængder energi, på at smelte malmen og fjerne urenheder.

Der er to åbenlyse veje for at nedbringe CO₂e udledningen, enten at bruge grønne energikilder eller bruge genbrugstål. Hvilket vil blive diskuteret i næste afsnit.

Fra Vestas 2021 bæredygtigheds rapport har den følgende grafik, der illustrerer massefordelingen i en 4.2 MW mølle. Selvom det er en lille mølle, illustrerer det stadig, hvor stor del af møllens masse der er stål.



Figur 0-4: Mængde fordeling i Vestas V126-4.2MW vindmølle. (VESTAS, 2021)

3.2 Stålindustriens fremtid

For at mindske CO₂e udledningen fra stål, skal der enten bruges andre energikilder til at omdanne malmen til jern, eller der skal bruges genbrugs stål.

Der var stor afvigelse i producenternes fokus på genbrugstål. Nogle viste stor bekymring mod krav på genbrugstål til tårne og fundamenter, mens andre mente, at de kunne bygge en hel park af genbrugstål. Det skal dog siges, at de troede kun på en park. Alle producenterne var enige om, at udbuddet af genbrugstål var for lille, til at kunne dække behovet, som der er i vindmølleindustrien. Genbrugstål ses derfor ikke som fuldstændig løsning på afkarboniseringen af stål, men en mulighed nogle producenter kan vælge, som supplement for at nedbringe CO₂e udledningen på stål. SWECO forslår derfor ikke, at man sætter genbrugstål som krav i udbuddet. Det er dog en mulighed nogle kan bruge for at mindske deres CO₂e niveau.

Ændringen af energikilder fra fossile brændstoffer ses som den nødvendige vej for at afkarbonisere stålindustrien. Der er to svenske anlæg, der kommer på markedet i 2026 år med kommercielt grønt stål, dog ikke plade stål. Det er SSAB og H2SreenSteel, hvilket har krævet investeringer i milliardklassen. Det skal sammenholdes med, at Sverige har gode forudsætninger for at lave grønt stål i forhold til andre lande, grundet deres relative grønne elnet i forhold til andre lande. Sverige er det land, der har investeret mest i grønt stål på verdens basis.

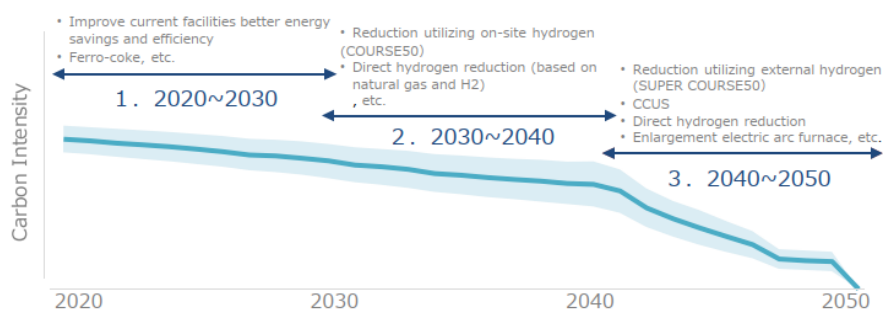
Mange store stålproducenter har milliarder af kroner bundet op på deres tidligere investeringer, hvilket gør det svært at skifte produktionsmetoder uden store tab. Stål industrien er generelt ældre i Europa end Asien, hvilket er

grunden til, at Asiens CO₂e pr ton stål er lidt mindre. Samtidig kan det forventes, at der kommer nogle store renovationer i EU i den nære fremtid. Fra Appendix 1 kan det ses, at alt den nye stålproduktion i EU bliver med DRI (Direct Induced Iron) i stedet for BF (Blast Furnace), hvorimod Kina kun investerer i BF. DRI kan være grønnere end BF, hvis der bliver brugt grønt brændsel. Det kræver, at der bliver investeret i infrastruktur og mere grønt brændsel i Europa. Det forventes derfor først omkring 2030, at der kommer grønt stål, der er konkurrence dygtigt. Der vil selvfølgelig blive opbygget et udbud løbende af grønt stål, og vi ser nogle værker rykke hurtigt, især efter krigen i Ukraine brød ud. En af vores kilder har en aftale med Delinger. Delinger er ved at omlægge deres anlæg til grønt stål, og ser meget optimistisk på grønt stål i 2030.

Den grønne omstilling er delvist drevet af, at man ikke kan få billig gas fra Rusland. Fra vores interviews kunne vi forstå, at nogle venter på offentligt tilskud for at omlægge deres produktion til grønt stål, fordi det er milliard investeringer, der er nødvendige.

For at omlægge stålproduktionen skal energiinfrastrukturen også følge med, fordi der skal bruges meget energi til at lave jern. Dette er en anden faktor, der gør, at det kommer til at tage tid (10-15 år) for, at industrien kan omlægge sig grundet de store investeringer. I Appendix 1 er tilføjet to figurer, der viser stål og jern kapacitet udviklingen på verdensplan fra (Swalec, 2021).

Det interessante er, at det er lige omkring 2030 og årene fremover, at der forventes at komme større mængder kommercielt grønt stål på det samlede marked. Inden 2030 vil det kun være få stålværker, der når at omstille sig delvis. Forhåbentligt tager udviklingen fat med energikrisen og CO₂e skatter. Figuren herunder er udarbejdet af den japanske stat. Hvordan de ser muligheden for at afkarbonisere stålindustrien på baggrund af, hvornår forskellige teknologier bliver til rådighed.

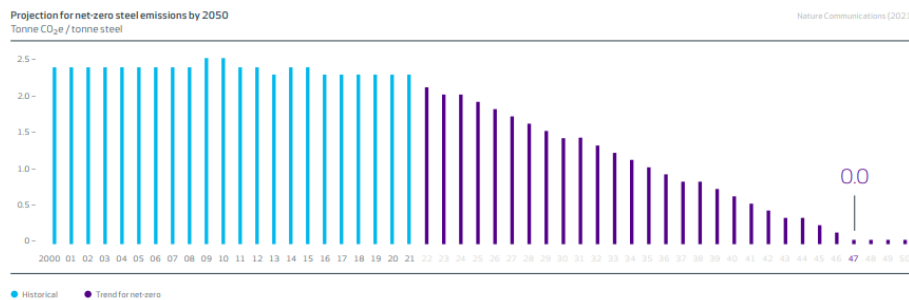


Figur 0-5 Japanske stats vej til karbon frit stål. Reference Technology Roadmap for "Transition Finance" in Iron and Steel Sector 2021.

Stålindustrien er meget international, men det antages, at EU hurtigere kan få grønt stål, pga. at vi vurderer, at krav om CO₂ fortrængning er lettere at indføre her, idet EU har større fokus på at nå CO₂ mål. Figuren viser dog, at man forventer et drastisk fald.

Med Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), som er EU lovgivning der træder i kraft i 2026, kommer der skat på importeret cement, aluminium, fertilisere, Electric Energy produktion, jern og stål. Priser for CO₂ på disse produkter kommer til at følge EU carbon permits. Dette får forhåbentligt nogle asiatiske stålproducenter, der har EU som hovedkunde, til at igangsætte en grøn omstilling.

Vestas har i deres bæredygtighed rapport fra 2021 (VESTAS, 2021) vist figuren herunder. Den viser deres vej til 0 udledning på stål i 2047.



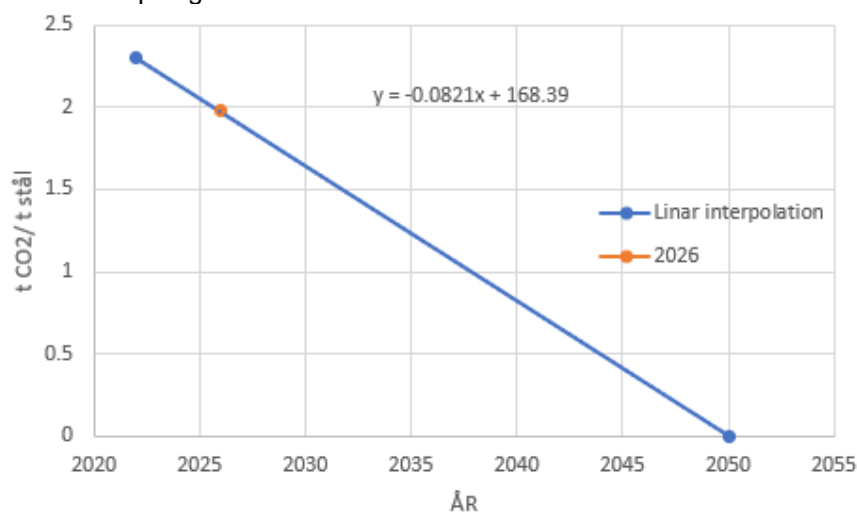
Figur 0-6 Bæredygtighedsrapport 2021 fra Vestas.

Vestas forventer en mere lineær nedskalering. Det er fordi de forventer, at de kigger ind i flere teknologier, og vil bruge stål fra forskellige kilder for ikke at tømme en ressource. Hvis vi aflæser figuren i år 2029/2030, er det ca. 1.5 CO₂e/t, som de forventer, at deres stål vil forurene.

Den grønne udvikling sker hovedsageligt i Europa. De fleste nye planlagte anlæg i Kina er stadig kulfyrede højovne. Hvilket betyder, at det bliver svært for kinesisk stål at konkurrere med europæisk stål, når man sætter krav til CO₂e på stål og transport.

Vores tilbagemelding fra de interviews der er foretaget til denne rapport, var generelt en reduktion på omkring 50% i 2030/2033. 50% reduktion er den umildbare reduktion, hvis man skifter fra kul til el. Derudover ville nogle gerne have det endnu lavere til omkring 85%, idet de havde aftaler med Dillinger-Sahr Stahl, som er startet på den grønne omstilling.

Hvis man tager en simpel antagelse, at vi skal være CO₂e neutrale i 2050, og at i 2022 koster det 2.3 CO₂e /t. Hvis der aflæses i 2026, giver denne simplificeret metode at CO₂e udledning skal som minimum ned på 1.9 CO₂e /t. Det kan ses på figuren herunder.



Figur 0-7: Lineær interpolation mellem CO₂e udledning i 2021 på 2.3 og 2050 på 0. I 2026 skal udledning være på 1.9 CO₂e /t for at følge en lineær tendens.

Figuren herover er en simplificeret antagelse. Figur 3 fra Japan estimeret antog små lappeløsninger først, og så et drastisk fald når der kommer grøn H2 som brændsel. Vestas forventer en lineær nedgradering, mens andre kilder fortalte, at der ikke er noget, der hedder 10% reduktion. Det er fordi når du omlægger dit anlæg fra kul til anden energikilde, så får du omkring 50% reduktion direkte. Hvilket antyder, at de ikke forventer at bruge forskelligt stål, men kun grønt stål. Hvis et anlæg bliver lagt om til elektricitet, er der selvfølgelig stor forskel på CO2e belastningen, alt efter hvor grøn din elektricitet er. Man kan selvfølgelig installere karbonfangst (carbon capture) og andre løsninger.

Det vi kan tage med fra interviewene og figurene er, at det bliver muligt at reducere CO2 udslippet. Hvordan forskellige firmaerne vil gøre det, er op til dem. Der er omkring 6 år til udførelse. Der kommer ikke en kæmpe revolution, men det kommer til at være muligt at skaffe grønnere stål. Med parkerne efter 2030 er tidshorizonten længere, og kravet kan sænkes. SWECO vurderer, at det er vigtigt for industrien, at se disse krav kommer, og de bliver konsistente. Så de kan begynde at finde på gode langvarende løsninger.

Vi ser derfor en udledning i 2029, der ligger i spændet mellem 0.6 og 1.7 CO2e/t, hvor 0.6 CO2e/t er muligt for dem der rykker på den grønne omstilling nu. Samt 1.7 er dem, der når at omlægge dele af deres produktion. Deres energi er derudover kun delvis grøn. Der kommer også til at være stål, der er med næsten ingen CO2e udledning i 2029, men dette stål vil højst sandsynligt blive solgt til andre industrier såsom bilindustrien.

Tabel 7: Ton CO2e pr ton stål i 2022 og hvad vi vurderer spændet, ligger på i 2030.

	2022	2026	2030
Ton CO2e pr ton stål	2.3	1.6 – 1.9	0.6 – 1.5

1.7 CO2e pr ton stål svarer til den lineære regression, og Vestas forventer 1.5. 0.6 CO2e/t svarer til effektivt forbrug af genbrugstål. Derudover er det muligt, at Dillinger -Sahr Stahl kunne nå til et sådant niveau. Idet de er ved at omlægge deres anlæg væk fra BF. Derudover er der som nævnt SSAB og H2SreenSteel, der kommer på marked med nuludledningsstål omkring år 2026. Det virkede dog ikke som om nogle vindmølleproducenter havde aftaler med dem.

3.3 Bekymringer i industrien

Forskellige bekymringer kom op i interviewene, der er resumeret herunder.

3.3.1 Overkompliceret

Problem

Der er en bekymring for, at metoden for CO2e opgørelse bliver for kompliceret. Der kan være op til 20.000 leverandører til en vindmølle. En fuld levetids opgørelse kan derfor være ekstrem besværlig at gennemføre. Derfor vil klare nemme krav være værdsat. De største udledninger kommer fra stål, transport og svejsning. Maling og beskyttelse kunne derudover have sine egne bæredygtighedskrav.

Nogle var startet med at se ind i scope 1,2 og 3. Der skal man også inkludere bl.a. bidraget fra ens medarbejders transport. Det bliver alt for omstændigt og svært at fakta tjekke.

Løsning

Der blev derfor foreslået fra leverandørerne at en samlet belastning på tårnet fra stål + svejsning + transport. Disse er de største udledningsskilder, og vil derfor dække langt det største CO₂e udledning. Det kan overvejes om det skal være alt stål, eller kun stål på de projekt specifikke designede komponenter som tårne, fundamenter og transition piece. Ikke alle nævnte svejsning kan evt. undlades. Til opgørelse af CO₂ er dette beskrevet i afsnit 6. Vi har ikke taget svejsning med i første omgang, for at det simpelt. For et mølletårn udgør svejsninger omkring 10% af CO₂e udledningen, når der bruges sort stål. For jakets kan det være op til 30 %. Der anbefales, at der inddrages svejsninger i de senere bud.

3.3.2 Udkonkurreret af Kina

Problem

Tårn producenten var nervøs for udkonkurrering fra Kina. Mange fabrikker er allerede lukket i EU, fordi landmøller kan sejles fra Kina på skibe til EU. Der har derudover været fejl beskatning, så der er kun skat på importeret stål, men ikke mølle tårne. Dette hul i skattereglerne vil dog snart blive lukket. Problemet er ikke set med havvindmøller endnu, men i takt med skibene bliver større, kan det også blive en mulighed.

Løsning

Hvis der er krav til kvalitet, tror de danske producenter, at de har en klar fordel i forhold til Kina. Kvalitet på overfladebehandling på første vindmølleparker, har været god og væsentligt forlænget levetid kan derfor opnås. Kvalitet skal være god på 100% af tårnet, hvis det skal kunne lade sig gøre.

3.3.3 Presset industri

Problem – presset industri

Stålintusiastens forsynings kæde har været presset de seneste par år, men det løsner lidt op nu. Det kan ses i de svingene stål priser over de sidste 10 år. Derudover er de bekymrede for, at der måske ikke er nok grønt stål på markedet, hvis alle landene kommer med på bæredygtighedskrav til stålet. Dertil en formodning om at der skal bygges rigtig mange havvindmøller i de kommende år. Der er derudover stor konkurrence fra især bilindustrien, som bruger mindre stål pr enhed, og nemmere kan sende regningen videre til forbrugeren. Vi ser også at SSAB har tæt samarbejde med Volvo om deres grønne stål.

Løsning – presset industri

Lad kravene være graduerende eller fleksible. Leverandørerne syntes, at der skal være krav for alle 10 GW, men en graduering eller et spænd, hvor du betaler bøde, eller får en bonus, hvis du ligger i forskellige kategorier. Et eksempel på gradueringsløsningen er givet i næste afsnit.

3.3.4 *Betydelige krav*

Problem – Betydelige krav

Det kommer til at koste en masse penge at finde grønne løsninger. Så hvis det kun er en lille del af udbuddet, der har bæredygtigheds krav, er det en stor udgift for en lille gevinst.

Løsning – Betydelige krav

Kravene skal derfor være for alle GW. De kan dog være graduerende. Hvis kravene blev standardkrav i fremtiden, ville det også sikre bedre løsninger. Det skal samtidig også være mindst 10% af point uddelingen, der går på bæredygtighed, ellers kommer det ikke til at rykke noget. Nogle udbud har det været 5% allokeret til bæredygtighed. Resultatet er, at ingen er kommet med gode løsninger, hvorimod dem med 15% er der kommet meget mere innovation.

3.3.5 *Genanvendelse krav til stålplader*

Problem – Genanvendelse krav til stålplader

Nogle producenter var nervøse for genanvendelses krav. Det var generelt ikke, der de havde fokuseret deres grønne omstilling. De forventer, at det kommer til at presse prisen, hvis der kommer genanvendelses krav. Andre producenter kigger meget mod genbrugstål, men vurderer, at der ikke er nok til at være en standard løsning.

Løsning – Genanvendelse krav til stålplader

Vi tror ikke genanvendelses krav på stålpladerne, er den rigtige vej at gå. Dette indikerer flere i vores interviews. Fra vores interviews kan vi se, at firmaerne heller vil komme med egne løsninger, hvor genanvendelse kan være en af løsningerne. Det er mere optimalt at fokusere på armerings jern og mindre komponenter ved genanvendelses krav. Lad firmaerne selv komme med løsninger for at reducere CO2.

Årsagen er, at der er for lidt genbrugsmetal på markedet til, at det kan dække efterspørgslen.

3.4 Mulige CO2e krav til stål

Det anbefales, at der sættes krav til alle GW af havvindmølle udbuddet. Vi forventer, at industrien er delvis klar til det i 2029, og efter 2030 vil kravene kunne skærpes for de resterende parker.

Det anbefales, at der kommer tydelige enkle krav. Såsom CO2e på **stål + svejsning + transport**. Med stål menes der stål til fundament, tårne og transition piece (TP).

Vi ser derfor en løsning, der har to skridt. Et materiale krav som varier på de forskellige GW. Og derefter en samlet CO₂e udledning på **stål + transport**. I tabellen herunder er Sweco's bud på det samlede krav til stål + transport. Tabellen tager udgangspunkt i besparelser for 2.3 CO₂e/t og 0.1 CO₂e/t for transport. Så udgangspunktet ligger på 2.4 CO₂e/t for samlet udledning i dag.

Tabel 8 viser, hvilket krav vi ville stille til CO₂e /t for stål og svejsning og transport. Procentsatsen er sat i forhold til de 2.4 CO₂e/t

	Monopæle og Tårne (t CO ₂ e /t)	Monopæle og Tårne % ændring
1-3 GW	1.6	33
4-6 GW	1.75	27
7-9 GW	1.9	21

Det laveste reduktionskrav er på 21%, hvilket er svarende til den lineære interpolation på Figur 0-7 med. Hvor der antages en CO₂ reduktion på 0.5 for transport. Det højeste reduktionskrav er sat til en reduktion på 33%, hvilket kun vil være dem med adgang til grøn energi, eller dem med effektiv brug af genbrugstål, der rykker på en grøn omstilling nu.

Som nævnt i 1.4 Metoder til CO₂e opgørelse: for ikke at favorisere simple løsninger, hvor materialer bruger mindre CO₂, men der skal bruges flere mængder materialer, og for at kunne sammenligne forskellige typer af løsninger. Bliver der nødt til, at tages hensyn til den totale mængde CO₂e.

Der lægges op til, at det samlede antal mængde CO₂e for stål og transport også opgives. Det er så den samlede mængde CO₂e udslip, der evalueres på samme måde som den normale pris.

Der kan derfor uddeles points for både den samlede CO₂e og materialeeffektiviteten. Der kan også indtages andre bæredygtige elementer ind i udbuddet. De er givet i næste afsnit. De kan evt. komme ind i de næste havvindmølleparker.

4. Betonindustrien

Dette afsnit er opbygget på lige fod med stålafsnittet. Der er dog ikke udført lige så mange interviews med cement fabrikker, idet der ikke forventes, at bruges lige så meget cement som stål i forbindelse med havvindmøllefabrikationen. Der er en del information og Aalborg Portlands planer om at reducere CO₂e på deres hjemmeside (Aalborg Portland, u.d.). Med det sagt skal der bruges enorme mængder cement til, hvis der laves gravitations fundamenter. Den beton man bruger i byggeri på åbent hav, er den mest aggressive miljøklasse og relativ høj styrke. Den skal derfor være stærkere og mere modstandsdygtig end den i normalt byggeri. Det kræver derfor mere CO₂e at producere den end normal beton. Derfor kan Aalborgs Portland FUTERECM for eksempel ikke bruges i disse sammenhæng.

4.1 Nuværende forhold

De nuværende udledninger er omkring 0.93 t CO₂e/t cement for en standard høj lavalkali beton, og i november 2022 kommer Aalborg Portlands SOLID cement, som var udviklet i forbindelse med Femern projektet på marked. Denne har en udledning på 0.74 CO₂e/t, hvilket er en ca. 20% reduktion. Den udleder mindre CO₂e, idet der er brugt flyveaske i cementen. Flyveaske er et restprodukt for kulfyret kræftværker, der grundet energikrisen er kommet mere af. Før energikrisen har produktionen af flyveaske dog været stærkt aftagende grundet lukningen af mange kulfyret kraftværker.

Ca. halvdelen af CO₂e aftrykket kommer, når man brænder kalk, for at fremstille cement, og i den proces udskilles CO₂e fra kalken. Den anden halvdel kommer fra fossile energikilder til at nå de meget høje temperaturer der er nødvendigt. Man kan derfor overordnet gøre 3 ting: skifte til grønne energikilder, bruge mindre kalk/cement eller lave karbon fangst.

Bemærk beton bruges kun i begrænset mængder i en vindmøllepark. Cement indgår i gravitations fundamenter (som oftest ses på lavt vand) og derudover i transition pieces fra Ørsted.

4.2 Cementindustrien om fremtiden

Som nævnt tidligere er der tre overordnede ting, som man kan gøre. Brug grønne energikildebrændsel, mindre kalk/cement eller lave karbon fangst. Alle tre ting skal gøres, hvis man skal have CO₂e udledningen reduceret til 0.

Hvis Aalborg Portland skal bruge biogas i stedet for fossile brændsel, så skal de bruge omkring 80% af den danske biogas produktion. De kan dog lettere skifte

deres brændere ud end stålindustrien. Det kræver dog stadig infrastrukturinvesteringer for at sikre nok grønt brændsel.

Kalk kan udskiftes med tilsætningsstoffer for at nedsætte CO₂e forbruget. Der er meget forskning inden for dette felt. Det er på denne metode hvorved Aalborg Portlands SOLID CEMENT og FUTURECEM bruger mindre CO₂e.

Man kan dog ikke udskifte alt kalken, og karbonfangst er derfor nødvendigt, hvis betonindustrien skal være helt grøn.

Aalborg Portland har en strategi for at nedbringe deres CO₂e udledning per ton cement. På deres hjemmeside skriver de, at de forventer 0.3 CO₂e/t i 2030.

Det kommer dog med en prisstigning. Den forventes dog ikke at være særlig stor. Idet at prisforskellen på biogas og fossilgas ikke er så stor. Generelt er flyveaske og andre tilsætningsmidler i cement billigere eller samme prisleje som kalk. Der er investeringer i forsyning til grøn energi, brændere og karbonfangst. Problemet har været at efterspørgslen på grøn cement er minimal til dags dato. Det er derfor vigtigt, at tydelige krav bliver stillet snart, for at få startet investeringerne til den grønne omstilling.

Der er gode indikationer på, at et produkt som Aalborg Solid cement, lavet på biogas med karbonfangst, kan dække behovet til vindmølleparkerne i 2030.

Biogas burde reducere standardproduktet fra 0.93 ton CO₂e/t med 50% til 0.46 ton CO₂e/t.

SOLID cement reducerer CO₂ udledning med 0.19 ton CO₂e /t., som giver de resterende til 0.27 ton CO₂e/t., hvilket er tæt på Aalborg Portlands mål (husk 50% er en tommelfingerregel).

Derudover kommer karbonfangst. Firmaet carbon clean reklamerer med, at de kan fange 90% af CO₂e udledningen fra cementproduktion. Der er mulighed for at indgå aftaler, hvor man sikrer sig, at den cement man køber, er lavet på biogas. Hvorimod til karbonfangst vil systemet virke på hele produktionen, og hvis ikke det har kapacitet nok, vil det ikke kunne fange 90% af CO₂e'en på hele produktionen.

Med disse simple beregninger ligger vi på et niveau mellem 0.3 CO₂e/t og 0.003 CO₂e/t for cementen, derudover kommer der tillæg fra transporten.

Tabel 9 Ton CO₂e pr ton cement i 2022 og hvad vi vurderer spændet, ligger på i 2026.

	2022	2026	2030
ton CO ₂ e pr ton cement	0.7-0.9	0.3-0.4	0.03-0.3

4.3 Bekymringer i industrien

Der er en bekymring for, at flyveaske vil blive en mangelvare igen, når vi kommer på den anden side af energikrisen, hvilket vil presse prisen på cement typer, som bruger meget flyveaske.

Hvis der er flere store infrastruktur projekter, der sammenfalder, kan der være problemer med forsyningen. Dette bliver næppe et problem ved havvindmølleudbuddet, men i større grad for Energiøen, idet der skal bruges større mængder til energiøen end til havindmølleudbuddene.

4.4 Mulige krav til CO₂e til beton

Der forventes ikke at skulle bruges så store mængder, at en leverandør ikke kan levere til alle 10 GW. Det skulle dog kun være vis man satte kravet til omkring 0.03 CO₂e/t. Vi anbefaler derfor følgende krav set i tabel 9. Den procentvise ændring er i forhold til de 0.74 ton CO₂e/t, der bruges på Femern projektet.

Tabel 9 Mulige krav til CO₂e belastningen på cement.

GW	(CO ₂ e/t)	% ændring
1-10 GW	0.4	54

Der er ikke taget højde for transport i denne beregning. Der skal måske lægges 0.01 til for transport.

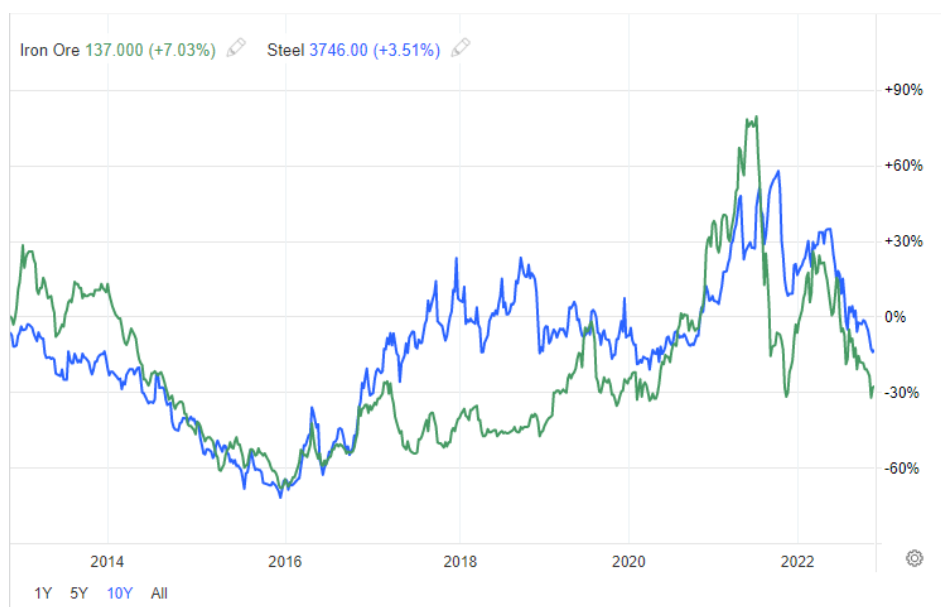
5. Grønt ståls indflydelse på pris

I dette afsnit er indflydelse af stål prisen på park niveau vurderet. Der er brugt overordnede betragtninger for priser. Der er kun vist tal i form af procentvis ændring, og ikke konkrete tal. Dette er gjort for at give en vurdering af stål prisens indflydelse, og ikke en økonomisk vurdering.

Vi har vurderet indflydelsen af prisstigninger på stål til vindmøllertårn, fundament, og transition piece. Prisen på stål har været enormt fluktuerende i de sidste par år. Derfor er spådomme om prisændring om 10 år båret med meget usikkerhed. Man forventer dog en prisstigning i spændet mellem 1000 og 5000 kr. per ton stål for stål med den halve CO2 reducering (EUR110 to EUR320 m

https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/swd-competitive-clean-european-steel_en.pdf).

Som tommelfingerregel er 50% af stål prisen råmaterialer, 25% brændsel og de sidste 25% er OPEX og CAPEX. Vi har set enormt store prisændringer på stål de sidste par år. Hvilket kan ses på figuren herunder fra tradingeconomics.com.



Figur 0-8 Ændring i stål og malm priser for de sidste 10 år.

Prisen på grønt stål om 10 år, kommer i stor grad til at afhænge af udbud og efterspørgsel. Der er meget lille udbud nu, kun genbrugstål kan reducere CO2 på 50% nu. Der ses dog en stigende efterspørgsel på grønt stål i forskellige

industrier. Bilindustrien er umildbart bedre aftager af det grønne stål, idet de bruger mindre stål pr produkt, og derfor bedre kan give merprisen videre til køber. Der ses dog også stålværker, der har samarbejde med vindindustrien angående grønt stål, idet energiselskaber som Ørsted og Vattenfall har ambitiøse bæredygtighed målsætninger.

5.1 Ændringen af stålprisen på park niveau

Vi har undersøgt, hvad prisen på stål til fundamenter, tårn og transition piece (TP) har på indflydelsen på hele havvindmølleparken. Vi har gjort det, ved at se på omkostninger af en hel havvindmøllepark fra interne information samt CATAPULT projektet (BVG associerede, u.d.). Vi har derefter øget prisen på stål 10%, 20%, 30%, 40% og 50%. Stål til tårnet går direkte ind i regnestykket, stål til fundament og TP er ikke direkte parametre. Der er derfor antaget, at 100% af fundamentet er stål for konservatisme, mens 70% af prisen TP er stålet. Dette er også konservativt, siden konstruktionen er meget kompliceret i forhold til monopæl. Installation er regnet for sig selv. Fundamentets procent andel af prisen er meget afhængig af dybden og jordbundsforholdene. Samt jo større møllerne er jo mindre del af omkostninger går til fundamenter. Der er derfor lavet to beregninger. Scenarie A hvor fundament + TP-pris er omkring 12% af CAPEX, og Scenarie B hvor fundaments + TP-pris er omkring 17%. Resultatet kan ses i tabellen herunder. Totale omkostninger er CAPEX med 25 års af OPEX.

LCOE-beregninger er meget simple. Discount faktor på 6%. Den har ikke så stor indflydelse på resultatet.

Tabel 10 Viser procent stigningen af omkostningerne, ved en ændring på stål prisen af stål for tårn, fundament og TP. Scenarie A er fundaments og TP-pris 12% af CAPEX. Scenarie B er fundaments og TP-pris 17% af CAPEX.

Ændring i stål pris %	10%	20%	30%	40%	50%
Ændring i CAPEX % (A)	1.1	2.4	3.7	5.0	6.3
Ændring i CAPEX % (B)	1.6	3.4	5.2	7.0	8.9
Totale omkostninger % (A)	0.5	1.2	1.9	2.6	3.2
Totale omkostninger % (B)	0.8	1.8	2.8	3.7	4.7
LCOE % (A)	0.76	1.67	2.60	3.53	4.45
LCOE % (B)	1.15	2.46	3.77	5.09	6.41

Hvis der ekskluderes stål til TP, ændrer tallene sig lidt. Resultatet kan ses på tabellen neden under.

Tabel 11 Viser det samme som tabellen over. Hvor der ikke sættes krav til grønt stål til TP.

Ændring i stål pris %	10%	20%	30%	40%	50%
Ændring i CAPEX % (A)	0.8	1.6	2.5	3.4	4.3
Ændring i CAPEX % (B)	1.3	2.7	4.2	5.6	7.0
Totale omkostninger (A)	0.4	0.8	1.3	1.8	2.2
Totale omkostninger (B)	0.7	1.5	2.2	3.0	3.7
LCOE % (A)	0.55	1.17	1.79	2.42	3.05
LCOE % (B)	0.95	1.97	3.00	4.03	5.06

6. CO2e procedure

I rapporten er der givet forslag til fire ting der skal regnes CO2e på nemlig Stål, svejsninger, transport og cement. For at der effektivt og nemt kan kontrolleres CO2e på de nævnte emner, er følgende forslag brugt.

6..1 Stål og cement

For stål og cement forslås der at bruge Environmental Product Declarations (EPD). EPD skal være tredjepart godkendt. Mange stål og cement producenter har allerede EPD på deres produkter. Det forslås at bruge global warming potentil (GWP) parameter for A1+A3. GWP måles i kg CO2-eg. Pr 1 ton stål eller 1 ton CO2. A1 står for råmaterialerne, og A3 er fremstilling. SWECO vurderer at EPD er tilstrækkeligt for at verificere CO2e belastningen. Vi har konsulteret med en uafhængige verifikator af EPD, der fortæller at der ikke kendes til tilfælde af snyd, for EPD der er tredjeparts godkendte, men tilføjer der er altid en måde at snyde med det. Der er firmaer der producerer dokumenter der ligner EPD'er, som kan findes på deres egne hjemmesider. EPD'er som er tredjepartsgodkente og veritificeret kan findes på Ecoplatform hjemmeside <https://www.environdec.com/library>. Der kunne hyres en af de uafhængige verifikatorer til at chekke EDP'en for ENS, for egen kontrol. Listen af uafhængige verifikatorer findes på deres hjemmeside.

6..2 Svejsning

Hvis svejsninger skal tages med, så kunne det gøres ved dokumentation igennem scope 1,2,3 og ISO-standard 14064. 1, 2 og 3. skal enten regnes som firmaets årlige CO2e opgørelse delt ud på alle de tons tårne og de tons stål, som de har svejset for at finde en materialefaktor. Det bliver sværere, at lave en projektspecifikt udledning, hvor grænsefladerne er tydeligt defineret. Dette er grunden til, at det ikke er taget med i første omgang.

6..2 Transport

Der er både transporten af materialer til mølle producent og til projektsite. Derudover er der også udledning af service fartøjer under operation. Der er ikke sat nogle krav til service fartøjer i denne rapport.

For transport forslås at bruge standarden EN 16258. Resultatet skal gives i kg CO2e / ton (stål eller cement) for totale strækning.

6..3 Totale mængde

Den totale mængde CO2e for stål, cement og transport, bevises på samme måde som beskrevet ovenfor. Der skal bare ganges med antal ton brugt af materialerne.

Der skal holdes øje med, at samme løsningsforslag ikke burde variere voldsomt i mængder. Der kunne være forskel i fundamentalsdybden, da det ikke kan regnes fuldstændigt i bud fasen.

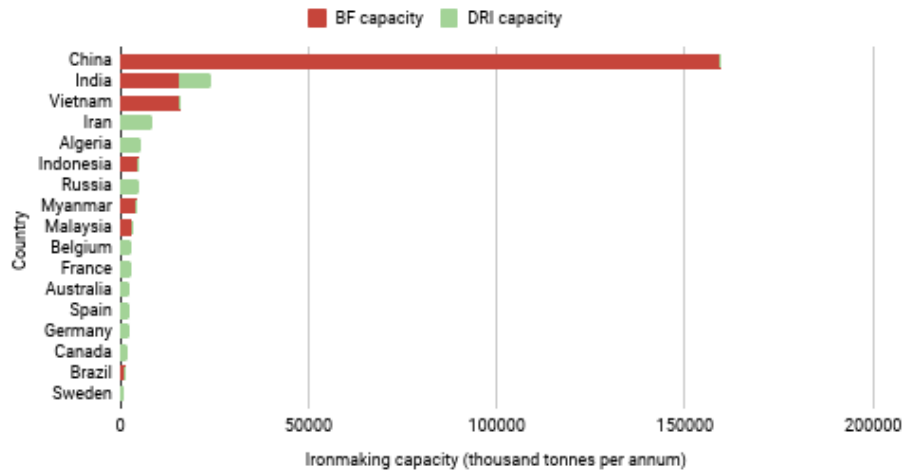
Appendix 1

Stål og jern kapacitet udvikling (Swalec, 2021)

ACRONYMS

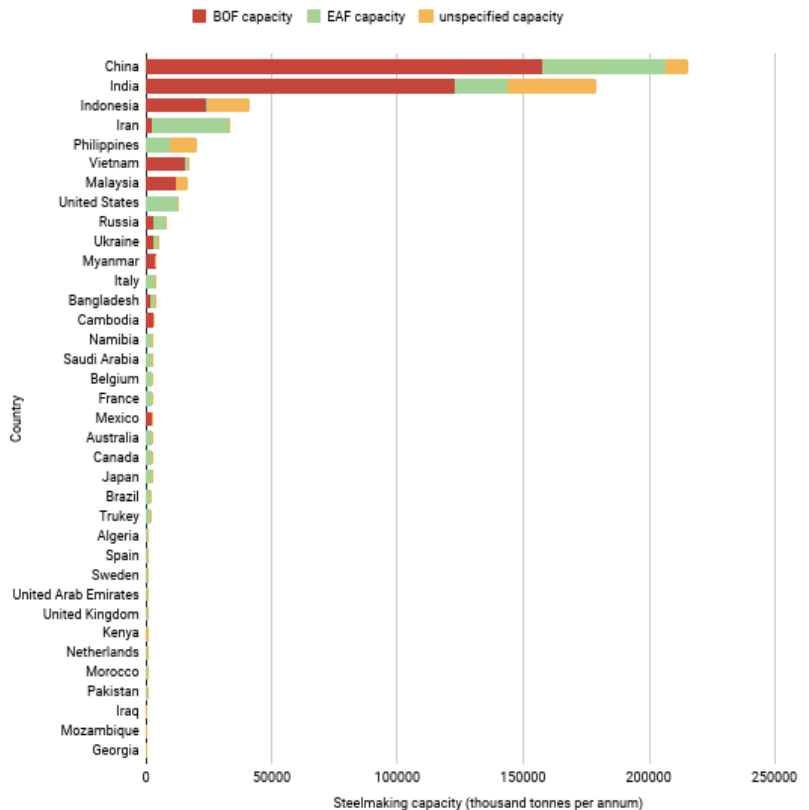
BAT	best available technology
BF	blast furnace
BOF	basic oxygen furnace
DRI	direct reduced iron
EAF	electric arc furnace
Mt	million metric tonnes
MtCO _{2e}	metric tonnes carbon dioxide equivalent
MTPA	million tonnes per annum
NZE	IEA's Net-zero by 2050 scenario (1.5°C by 2050)
OHF	open hearth furnace
SDS	IEA's Sustainable Development Scenario (1.5°C by 2070)
TTPA	thousand tonnes per annum

Figure 7: Ironmaking capacity under development by technology type



Source: [Global Steel Plant Tracker](#); Global Energy Monitor, March 2022.
Note: includes iron plants with capacity of at least 0.5 mtpa.

Figure 6: Steelmaking capacity under development by technology type



Figur og Tabel liste:

Figur 0-1: Metoder til at få bæredygtighed in i udbuddet. Med materialer menes der cement, stål og deres transport.	10
Figur 0-2: Belastning fra Vestas V90-2MW land mølle.	16
Figur 0-3 CO ₂ e udledning fra minen til stål. Ved brug af kul fyret højovn (CARBON TRUST, 2011).....	20
Figur 0-4: Mængde fordeling i Vestas V126-4.2MW vindmølle. (VESTAS, 2021)	21
Figur 0-5 Japanske stats vej til karbon frit stål. Reference Technology Roadmap for "Transition Finance" in Iron and Steel Sector 2021.	22
Figur 0-6 Bæredygtighedsrapport 2021 fra Vestas.	23
Figur 0-7: Lineær interpolation mellem CO ₂ e udledning i 2029 på 2.3 og 2050 på 0. I 2029 skal udledning være på 1.7 CO ₂ e /t for at følge en lineær tendens.	23
Figur 0-8 Ændring i stål og malm priser for de sidste 10 år.	31
Tabel 1: Ton CO ₂ e pr ton stål i 2022 og hvad vi vurderer spændet ligger på i 2026.	8
Tabel 2. Bud på CO ₂ belastningen for cement i 2022 og 2033. For 2022 er kilden (Aalborg Portland, u.d.)	8
Tabel 3 viser, hvilket krav vi ville stille til CO ₂ e /t for stål og svejsning og transport. Procentsatsen er sat i forhold til de i dag 2.6 CO ₂ e /t for monopæle og tårne.....	12
Tabel 4 viser procent stigningen af omkostningerne ved en ændring på stål prisen af stål for tårn, fundament og TP. Scenarie A er fundaments og TP pris 12% af CAPEX. Scenarie B er fundaments og TP pris 17% af CAPEX.	13
Tabel 5 Ton CO ₂ e pr ton cement i 2022 og hvad vi vurderer spændet, ligger på i 2026 inklusivt transport.	13
Tabel 6: Ton CO ₂ e pr ton stål i 2022 og hvad vi vurderer spændet, ligger på i 2029.	24
Tabel 7 viser, hvilket krav vi ville stille til CO ₂ e /t for stål og svejsning og transport. Procentsatsen er sat i forhold til de 2.6 CO ₂ e/t	27
Tabel 8 Ton CO ₂ e pr ton cement i 2022 og hvad vi vurderer spændet, ligger på i 2026.	29
Tabel 9 Viser procent stigningen af omkostningerne, ved en ændring på stål prisen af stål for tårn, fundament og TP. Scenarie A er fundaments og TP-pris 12% af CAPEX. Scenarie B er fundaments og TP-pris 17% af CAPEX.	32
Tabel 10 Viser det samme som tabellen over. Hvor der ikke sættes krav til grønt stål til TP.	33

References

- BVG associatede . (n.d.). *guide to an off shore windfarm*. Retrieved from <https://guidetoanoffshorewindfarm.com/wind-farm-costs>
- carbon clean. (n.d.). *carbon clean cement*. Retrieved from <https://www.cement.com/industries/cement>
- CARBON TRUST . (2011). *International Carbon Flows, STEEL*.
- enten Dansk Energi, Dansk Solkraft eller Wind Denmark. (n.d.). *greenpowerdenmark*. Retrieved from <https://greenpowerdenmark.dk/nyheder/krav-om-baeredygtige-vindmoeller-rykker-naermere>
- IEA. (2020). *Iron and Steel Technology Roadmap*.
- Jackson, M. D. (2021). Concrete needs to loose its colossal carbon footprint . *nature*, 2.
- science based targets. (n.d.). *sciencebasedtargets*. Retrieved from [sciencebasedtargets: https://sciencebasedtargets.org/](https://sciencebasedtargets.org/)
- Swalec, C. (2021). *IT'S NOT TOO LATE TO ABATE EMISSIONS FROM THE GLOBAL IRON AND STEEL SECTOR. PEDAL TO METAL*.
- VESTAS. (2021). *Sustainability Report 2021 - Leading the energy transition*.
- Aalborg Portland. (n.d.). *Aalborg Portland vil reducere CO2-udledning med 1,6 mio. tons i 2030*. Retrieved from <https://www.aalborgportland.dk/aalborg-portland-vil-reducere-co2-udledning-med-16-mio-tons-i-2030/#:~:text=Til%20geng%C3%A6ld%20vil%20den%20gr%C3%B8nne,blandt%20de%20laveste%20i%20Europa>.

Together with our clients
and the collective

knowledge of our 18,500
architects, engineers and
other specialists, we co-
create solutions that
address urbanisation,
capture the power of
digitalisation, and make our
societies more sustainable.

Sweco – Transforming
society together