

# Fossiludfasning i industrielle processer

Som en del af arbejdet med Grøn Industrianalyse, er der blevet udarbejdet 6 cases om industrielle processer, i hvilke det er muligt at reducere eller helt afskaffe anvendelsen af fossile brændsler.

ADRESSE COWI A/S  
Parallelvej 2  
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

Disse cases er baseret på specifikke virksomheders muligheder for at udfase fossile brændsler. Der er dog tale om illustrative cases for at vise potentialerne for disse typer af virksomheder. Casene er baseret på virksomhedernes energiforbrug, men ikke tilpasset deres økonomiske og tekniske situation, idet omkostninger og CO<sub>2</sub>-reduktionspotentialer er baseret på generelle, standardiserede forhold. Der kan være forskellige forhold, der gør, at de her præsenterede potentialer enten ikke er fuldt realiserbare, eller at potentialet er større eller mindre end angivet.

I hver case beskrives et basisscenarie samt ét eller flere alternative scenarier, hvor den industrielle proces enten omlægges til ikke-fossile brændsler, eller hvor produktionen omlægges til mere energieffektive processer. Basisscenariet indeholder den fulde omkostning til et nyt anlæg baseret på samme brændsel som anvendt historisk, givet en antagelse om nødvendig reinvestering eller afskrivning af det nuværende anlæg. I praksis er de annuierede totalomkostninger i det enkelte basisscenarie formentlig højere end virksomhederne kan genkende, da dyre tekniske anlæg ofte holdes i drift ud over deres tekniske levetid, og efter at anlægget er fuldt afskrevet. Denne praksis er svær at indregne i en økonomisk analyse. Beregningerne tager ikke højde for eventuelle opstartsproblemer, produktionsstop eller lignende.

Hver case bliver opsummeret i tre nøgletal:

- > **Annuierede totalomkostninger.** De annuierede totalomkostninger er de årlige totalomkostninger for anlægget, dækkende investeringer og reinvesteringer, faste driftsudgifter, brændselsudgifter og afgifter.
- > **CO<sub>2</sub>-emissioner.** CO<sub>2</sub>-emissionerne bliver beregnet ud fra de generelle emissionskoefficienter for de enkelte brændsler. For ledningsgas og el anvendes altid de gennemsnitlige emissionskoefficienter. Indkøb af grøn strøm og biogas gennem ledningsnettene påvirker ikke de faktiske emissioner i disse cases.
- > **CO<sub>2</sub>-reduktionsskyggepris.** Dette er en driftsøkonomisk skyggepris, som ikke bør forveksles med den samfundsøkonomiske skyggepris. Den driftsøkonomiske skyggepris er virksomhedens omkostning ved at reducere CO<sub>2</sub>-udledningerne med den valgte løsning.

Alle nøgletal er afrundet til 2 eller 3 betydende cifre for at afspejle den betydelige usikkerhed.

PROJEKTNR.

A231789

DOKUMENTNR.

1

VERSION

1

UDGIVELSESDATO

8. Sept. 2021

BESKRIVELSE

UDARBEJDET

MHO, SDJO, APHE

KONTROLLERET

MOU, SPS

GODKENDT

MHO

# Case om fossiludfasning i Aalborg Portland



## Nuværende installation

Cement produceres ved at indvinde og bearbejde kridt. Det kræver en opvarmning af kridtet, hvorved der udledes CO<sub>2</sub>. 40% af CO<sub>2</sub> udledningen stammer fra brændselsforbruget til opvarmningen, 50 % fra processen og ca. 10 % fra blandt andet transport. Opvarmningen sker i roterovne, der traditionelt har været fyret med kul og koks. I 2018 dækkede Aalborg Portland 30% af brændselsforbruget med alternative brændsler (f.eks. industrielt affald, i hvilket der indgår en fossil fraktion), mens de 70 % blev dækket af kul og petro-koks. I denne case har vi antaget, at brændslerne i baseline udelukkende er kul og petro-koks.



## Ledningsgas

Ledningsgas kan anvendes som et alternativ til kul og olie men kræver en ombygning af ovnene. Aalborg Portland har nyligt investeret 35 mio. DKK i at forberede anlæggene til ledningsgas og bliver koblet på gasdistributionsnettet i 2022.

Det kan medføre en CO<sub>2</sub>-reduktion på 800.000 tons/år ved brug af biogas og ca. 435.000 tons/år ved brug af ledningsgas. I denne case er det antaget, at ledningsgassen erstatter al kul og gas.



## Elektrificering

Elektrificering af cementproduktionen er formentlig ikke mulig, da det vil kræve en total ombygning af anlægget. Der kan dog være delprocesser, såsom tørring og pre-heating, hvor elektrificering er mulig. Det er dog ikke muligt at skille energiforbruget ud for at regne på det eller at vurdere, hvor stor en andel, som kunne håndteres via procesintegration.



## FUTURECEM

Aalborg Portland udvikler en mere klimavenlig cement, i hvilken en del af klinkerne i den traditionelle cement erstattes af en blanding af kalkfiller og kalcineret ler, hvilket medfører en 30% lavere CO<sub>2</sub>-udledning. Reduktionen stammer dels fra, at der udledes mindre CO<sub>2</sub> fra kalksten og gips end fra kridt, når de opvarmes, og dels et lavere energiforbrug ved opvarmning til lavere temperaturer.

FUTURECEM kan ikke erstatte alle typer cement - særligt ikke hvid cement, der er den mest CO<sub>2</sub> tunge variant. Andre cementproducenter arbejder også på lignende produkter, der kan reducere procesudledningen med op til 70 %.

Det er i denne case antaget, at halvdelen af besparelsen i udledningen stammer fra reduceret brændselsforbrug og den anden halvdel fra reducerede CO<sub>2</sub> emissioner i processen. Der er dog usikkerhed om reduktionspotentialer, idet kalcinering af ler også udleder proces-CO<sub>2</sub>. En udfordring ved FUTURECEM er usikkerheden om hvorvidt markedet vil acceptere de nye produkter. Produktion af FUTURECEM kræver en investering på omkring 500 mio. DKK



## Carbon capture

CO<sub>2</sub>-fangst fra røggasserne er også en mulighed, der rykker nærmere i disse år. Ud over den direkte reduktion i emissionerne er der også store synergier med satsningen på PtX.

På nuværende tidspunkt kendes de præcise omkostninger i forbindelse med denne teknologi ikke, og derfor er det ikke muligt at opstille en case.



Scenarie	Annuerede totalomkostninger, DKK/år	CO <sub>2</sub> -emissioner, tons CO <sub>2</sub> pr. år (%-vis reduktion)	CO <sub>2</sub> -reduktionsskyggepris, DKK/ton CO <sub>2</sub>
Kul og petrokoks	937.000.000	2.156.000	-
Ledningsgas	1.079.000.000	1.721.000 (20%)	330
FUTURECEM	748.000.000	1.509.000 (30%)	-300
Kombineret scenarie	894.000.000	1.204.000 (44%)	-45



## Konklusion

Kul- og petrokoks-fyrede roterovne har i mange år været en integreret del af cementproduktionen i Aalborg Portland. De senere år har budt på omlægning til i en vis udstrækning at fyre med industriaffald, som dog delvist er fossilt. Andre løsninger som anvendelse af ledningsgas og nye produkter kan bidrage til at nedbringe CO<sub>2</sub>-udledningen. Ved brug af ledningsgas kan CO<sub>2</sub>-udledningen reduceres med 435.000 tons CO<sub>2</sub> årligt med en reduktionspris på 330 DKK/ton CO<sub>2</sub>. Ved produktion af FUTURECEM er reduktionen endnu større, samtidig med at der er en forretningsmæssig gevinst, da skyggeprisen er -300 DKK/ton CO<sub>2</sub>. Dog er denne case beregnet på baggrund af, at hele produktionen af cement omlægges til futurecem, hvilket formentlig ikke er muligt. Skyggeprisen vil dog stadig gælde ved en delvis omlægning.

Anvendelsen af ledningsgas og produktion af FUTURECEM kan også kombineres, så CO<sub>2</sub>-reduktionen bliver endnu større. I dette kombinerede scenarie vil udledningen reduceres mest, da der både sker en udskiftning af fossile brændsler og en yderligere 30 % reduktion som følge af dels et lavere energiforbrug og dels en mindre procesudledning. Dette scenarie vil have den laveste omkostning pr. ton CO<sub>2</sub>-reduktion, samtidig med at det er forretningsmæssigt rentabelt, da skyggeprisen er negativ.

# Case om fossiludfasning i tung intern transport



## Nuværende installation (Diesel)

Tung intern transport dækker over en række aktiviteter udført med f.eks. entreprenørmaskiner, kraner og fiskekuttere. I denne case fokuseres på muligheden for at elektrificere gravemaskiner og fiskekuttere. Diesel har længe været foretrukket på grund af driftssikkerheden og evnen til at være i drift hele dage uden stop. I takt med udviklingen i batteriers pris, energitæthed og holdbarhed, er elektricitet som drivmiddel blevet mere attraktiv. Der kommer flere og flere lette eldrevne maskiner på markedet, men de senere år er der også bygget eldrevne gravemaskiner og hybridfiskekuttere. Det kan på sigt også være muligt at omstille til kørsel på f.eks. biodiesel (HVO). Intern transport i byggeriet og fiskeriet er til en vis grad sammenlignelig med landbruget, der står for samme CO<sub>2</sub>-udledning som de to andre tilsammen. Samme problemstillinger som i byggeriet gør sig gældende i landbruget, hvor antallet af driftstimer og størrelsen på maskinen kan gøre det svært at lave en batteripakke, der er stor nok.



## Elektrificering af gravemaskiner

Det er primært minigravere, der nu kan købes i elektriske versioner; større batteripakker til større gravemaskiner er under udvikling. Gravemaskinen, der er behandlet i casen, har en batterikapacitet på 20 kWh og en effekt på 18 kW (Volvo ECR25 electric). Der findes projekter, der tester gravemaskiner med kapacitet op til 300 kWh. Vanskeligheden med de tungere maskiner ligger i batteripakkens kapacitet, som skal kunne holde til en hel dags drift. Det kan også blive en udfordring at opstille kraftige ladestander på byggepladserne – især hvis lynladning i løbet af dagen bliver nødvendig. Effektrækket fra hurtigladere og lynladere kan ligge langt over, hvad der er installeret på byggepladsen. Casen er bygget på en minigraver, der findes i handlen i dag. Batterikapaciteten er tilstrækkelig til ca. 7½ timers drift. Dermed kan ladebehovet dækkes om natten med et lavt effektræk.



## Elektrificering af kystnære fiskekuttere

Den første el-hybridfiskekutter blev leveret af det norske værft Selfa Arctic i 2015. Der er tale om en mindre (11-meter) kutter til kystnært fiskeri. Casen bygger på denne type fiskerkutter. Batterikapaciteten er tilpasset et driftsmønster med ture på under 12 timer. Manøvrer i havn og på fiskepladsen anvender el, mens transporten frem og tilbage til fiskepladsen foregår på diesel. Ca. 65% af energien kommer dermed stadig fra diesel. Erfaringerne fra driften af de første hybridkuttere i Norge viser, at batteriet faktisk var overdimensioneret. Fiskeriets type har betydning for energiforbruget, men den generelle konklusion har været, at batteriet formentlig kan gøres mindre. Det anslås, at meromkostningen ved nybygning af en el-diesel-hybrid kutter bliver ca. 1,2 mio. DKK. Dertil kommer besparelser på driften på ca. 43.000 DKK om året. Dette dækker både reduceret dieselforbrug, indkøb af el og reduceret vedligehold. Casen er beregnet ud fra et driftsmønster hvor kutteren er til søs i 12 timer ad gangen 200 dage om året. Sejlads til og fra fiskepladsen (2 timer hver vej) foretages på diesel mens manøvrer i havn og på fiskepladsen foregår på el.

Scenarie	Brændsel	Annuserede totalomkostninger, DKK/år	CO <sub>2</sub> -emissioner, tons CO <sub>2</sub> pr. år (%-vis reduktion)	CO <sub>2</sub> -reduktions-skyggepris, DKK/ton CO <sub>2</sub>
Gravemaskiner	Diesel	142.000	28	-
	Elektrificering	149.000	4 (87%)	300
Fiskekutter	Diesel	104.000*	44	-
	Elektrificering	177.000*	14 (70%)	2.400

\* Medtager kun omkostninger, der ændrer sig ved elektrificering. Merinvestering, brændstofforbrug, ændring i vedligehold.



## Konklusion

Dieseldrevne maskiner til intern transport kan i stigende grad erstattes af elektrificerede versioner. Med de batteristørrelser, der er tilgængelige i dag, vil man kunne elektrificere ca. 18% af maskinparken. Hovedudfordringerne ligger i batteripakkens størrelse, adgang til lademuligheder og en betydelig meromkostning. Den eldrevne gravemaskine giver en reduktion i årlig CO<sub>2</sub>-udledning på 24 tons. Der er dog tale om en betydelig merinvestering for en eldrevet gravemaskine, og skyggeprisen for CO<sub>2</sub>-reduktionen bliver ca. 300 DKK/ton CO<sub>2</sub>. Det samme gør sig gældende for fiskekuttere, hvor en hybridløsning forventes at kunne reducere CO<sub>2</sub>-emissionerne med 70%. Det er dog stadig en relativt dyr løsning, og reduktionsomkostningen bliver ca. 2.400 DKK/ton CO<sub>2</sub>. Det generelle billede tyder på, at skyggeprisen stiger med maskinernes størrelse.

## Case om fossiludfasning i produktion af mineraluld



### Nuværende installation

Stenuld og glasuld produceres ved at smelte sten eller glas for at trække det ud i fine tråde der ligner uld. Processen foregår ved temperaturer på op mod 1.500 grader. På nuværende tidspunkt foregår det primært i store kuppelovne, som enten allerede anvender ledningsgas som energikilde, eller er på vej til det. Basisscenariet i casen her er et anlæg, der bruger ledningsgas. Opvarmningen af ovnene kræver store mængder af energi. Produktion af glasuld og stenuld er meget lig hinanden.

Et gennemsnitligt anlæg, der producerer 120.000 tons stenuld årligt, har en investeringsomkostning på omkring 740 mio. DKK og en årlig omkostning på 37 mio. DKK. CO<sub>2</sub>-udledningen fra et anlæg, der anvender en kombination af el, naturgas, kul, og en smule flydende brændstof, er ca. 0,43 ton CO<sub>2</sub> pr. ton mineraluld. Dette svarer til en total udledning på 51.600 tons CO<sub>2</sub>, hvoraf 0,14 % er procesemissioner.



### Elektrificering

Den danske stenuldsproducent Rockwool har på nuværende tidspunkt i Frankrig og Norge installeret lysbueovne, som bruger vekselstrøm til at producere varme til at smelte materialet. I produktionen af stål har man også længe anvendt elektriske ovne til at smelte materialer.

En elektrisk ovn vil kræve en investering på ca. 26 mio. DKK mere end baselineanlægget og have en kortere levetid. Dog vil der være en reduktion i driftsomkostningerne på ca. 2,6 mio. DKK årligt. Ved at elektrificere anlægget kan energiforbruget reduceres med ca. 25 %, samtidig med at CO<sub>2</sub>-emissionerne blive lavere, især på lang sigt, når en større del af den samlede elproduktion i Danmark udgøres af vedvarende energi.

Elektrificering kræver dog et stabilt elnet og tilslutning til højspændingsnettet.



### Biogas

Ved anvendelse af biogas kan CO<sub>2</sub> udledningerne reduceres til 0. Det kræver dog, at der i Danmark produceres mere biogas til gasledningerne. Der er nu en blanding af biogas og naturgas i ledningerne, og en egentlig CO<sub>2</sub>-besparelse afhænger af, at produktionen af biogas øges. Omlægning til biogas er ikke forbundet med store merinvesteringer for virksomheder, der allerede har omlagt til naturgas.

Hvis hele energiforbruget erstattes med biogas, ville virksomhederne kunne reducere deres udledninger til næsten ingenting uden meromkostning.

Scenarie	Annuerede totalomkostninger, DKK/år	CO <sub>2</sub> -emissioner, tons CO <sub>2</sub> pr. år (%-vis reduktion)	CO <sub>2</sub> -reduktions-skyggepris, DKK/ton CO <sub>2</sub>
Ledningsgas	164.000.000	52.000	-
Elektrificering	214.000.000	13.000 (74%)	1300 DKK



### Konklusion

Elektrificering af processen er teknisk mulig, men der skal investeres i et helt nyt produktionsapparat. For et anlæg med en produktionskapacitet på 120.000 tons mineraluld, bliver merinvesteringen ved el frem for ledningsgas 50 mio. kr. Elektrificering vil kunne reducere CO<sub>2</sub>-udledningen med knap 40.000 tons årligt. Pr. reduceret ton CO<sub>2</sub> vil omkostningen være omkring 1300 DKK.



## Case om fossiludfasning i Arla



### Nuværende installation

Arla er en andelsmejeri-koncern og verdens femtestørste mejerivirksomhed. Den producerer en lang række mejeriprodukter, og råmælken gennemgår forskellige processer afhængigt af hvilket slutprodukt, der produceres.

Denne case omhandler produktion af mælkepulver, hvilket blandt andet foregår på en række lokationer i Danmark. Mælkepulver er en stor eksportvare, og eksporteres i stor udstrækning til Kina og andre østlige lande. I Danmark benyttes det i babymad og lignende.

I casen opstilles et baselinescenarie, hvor produktionen sker med naturgas, og et alternativt scenarie, hvor processen delvis elektrificeres. Processen fra råmælk til mælkepulver sker i tre separate produktionsenheder: behandlingen af selve råmælken, en fordampner og en spraytørrer. Produktionen sker i grove træk ved at råmælken behandles og sendes igennem et fordampningsanlæg, hvorefter en spraytørrer tørrer mælkekoncentratet til pulver ved temperaturer op til 220 grader.



### Elektrificering

Et casestudie af mælkepulverproduktionen i henholdsvis Danmark og Tyskland beskriver fire forskellige scenarier for elektrificering af produktionsprocessen. To af scenarierne indebærer elektrificering af de eksisterende anlæg, mens de to øvrige scenarier består i henholdsvis et centralt varmepumpesystem og et decentraliseret system.

Spraytørring elektrificeres ved hjælp af damp produceret af en kombination af MVR (Mechanical Vapor Recompression) og varmepumper. Varmepumper leverer temperaturer op til 90 °C, som boostes med MVR op til ca. 200-220 °C. Den samlede virkningsgrad i systemet bliver vurderet til ca. 1.95 hvilket giver en betydelig energibesparelse i forhold til et lignende anlæg på ledningsgas.

Det mest CO<sub>2</sub>-besparende af scenarierne er det centraliserede varmepumpesystem, der leverer varme og nedkøling mere effektivt end de andre. Det medfører en forøgelse af de annuiserede omkostninger på 4 mio. DKK og en CO<sub>2</sub>-reduktion på omkring 22.000 tons/år, hvilket svarer til en skyggepris på ca. 200 DKK pr. ton CO<sub>2</sub>.

Scenarie	Annuiserede totalomkostninger, DKK/år	CO <sub>2</sub> -emissioner, tons CO <sub>2</sub> pr. år (%-vis reduktion)	CO <sub>2</sub> -reduktionsskyggepris, DKK/ton CO <sub>2</sub>
Ledningsgas	36.000.000	27.000	-
Elektrificeret central varmepumpe	40.000.000	5.000 (81%)	200



### Konklusion

Mælkepulverproduktionen kan elektrificeres, hvilket øger omkostningerne, men medfører store CO<sub>2</sub>-reduktioner, hvilket afspejles i en relativt lav skyggepris på CO<sub>2</sub>-reduktionen. Casen omhandler et centraliseret varmepumpesystem. Der findes også mulighed for et decentralt system baseret på eksisterende teknologier, der tillader gradvis implementering og prioritering af de mest omkostningseffektive tiltag fra start. Dette er dog ikke belyst in denne case.

Et alternativ, der ikke er medtaget som beregnet scenarie, er omlægning fra naturgas til biogas. Det vil i praksis kunne reducere CO<sub>2</sub>-udledningerne til 0, men kræver at Danmark kan producere tilstrækkelig biogas til gasledningerne. Hvis det kan lade sig gøre, vil omlægningen være meget billig hvor anlæggene allerede bruger ledningsgas.

# Case om fossiludfasning i Monier A/S Volstrup Teglværk



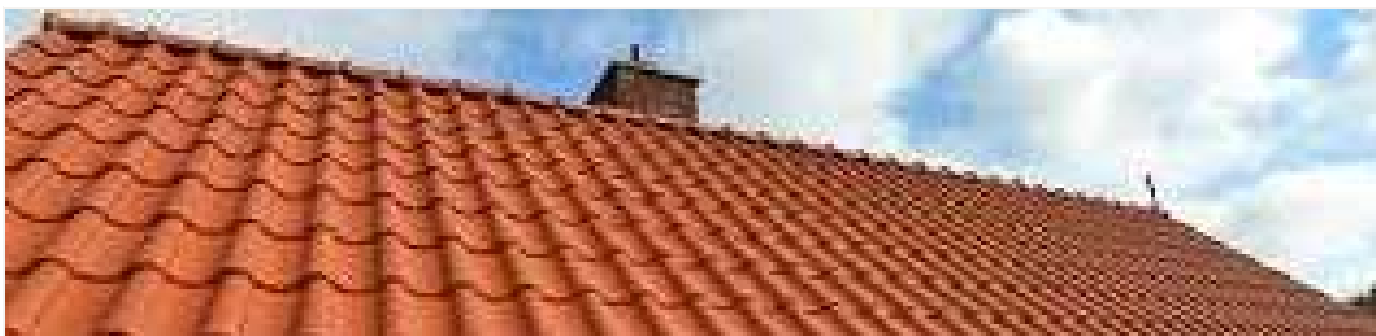
## Nuværende installation

Tegl produceres af ler, som formes og tørres og derefter brændes ved temperaturer på 950-1.050 grader i store tunnelovne. Restvarmen fra brændingen i ovnene anvendes til tørring. Der bruges dog sommetider en mindre mængde energi til tørring. Tunnelovnen er primært fyret med naturgas og en mindre mængde kul og koks. I den nuværende ovninstallation er der et energitab på omkring 30% fra røggassen i forhold til den indfyrede energi. Virksomheden har både installeret tunnelovne og en periodisk ovn.



## Ledningsgas

Der anvendes allerede ledningsgas i stort set alle teglværker. Dette skyldes blandt andet, at det er besværligt at anvende fast brændsel i tunnelovne, da der er flere individuelle brændere end i eksempelvis en roterovn. Konvertering til biogas via ledningsgas er en mulighed og kræver ikke investeringer i nye brændere, hvilket derfor er en oplagt mulighed for at reducere CO<sub>2</sub>-udledningen.



## Elektrificering

Der findes ikke på nuværende tidspunkt en markedsmoden teknologi for elektrificerede tunnelovne. Der forskes en del i at elektrificere processen. En elektrificering vil dog kræve en fuldstændig ombygning af produktionsapparatet. Der findes el-ovne, som kan levere de nødvendige temperaturer, og disse kan også leveres til brænding af ler i lille skala. Da der mangler data for elektrificering af teglværker, baserer denne case sig på en case om elektrificering af mineraluldsproduktion, da temperaturkravene er sammenlignelige. Casen er blevet tilpasset energiforbruget og den forventede reinvestering i det eksisterende anlæg hos Monier A/S Volstrup Teglværk.

I denne case er det antaget, at et nyt produktionsapparat koster 3 % mere end det eksisterende produktionsapparat, som det er tilfældet med ovne til produktion af mineraluld. Ligeledes antages det, at driftsomkostningerne falder med 7 % årligt som følge af bl.a. en højere effektivitet. Levetiden for merinvesteringen er dog sat til kun at være 7 år, hvor baselineanlægget antages at have en levetid på 50 år. Dette skyldes de elektriske komponenters korte levetid.



## Produktionsomlægning væk fra grå tegl

Teglstens farve er afhængig af to faktorer: det anvendte ler og antallet af gange, stenen brændes. Gule og røde sten er brændt en enkelt gang ved høje temperaturer. Ved produktion af blådæmpet sten brændes de røde og gule sten en gang mere. Monier A/S Volstrup Teglværk oplyser, at der bruges lidt over dobbelt så meget energi til at brænde teglene to gange. Yderligere oplyser de, at 1 % af deres samlede produktion er blådæmpet tegl. Det svarer til at ca. 2 % af det samlede energiforbrug anvendes til at producere blådæmpet tegl. Ved at stoppe produktionen af blådæmpet tegl kan der derfor spares ca. 1 % af det samlede energiforbrug. Der vil være økonomiske besparelser som følge af et lavere energiforbrug forbundet med en sådan omlægning, men der vil formentlig også være en omkostning i form af tabt omsætning for virksomheden. De eksakte tal har dog ikke været mulige at finde.

Scenarie	Annuserede totalomkostninger, DKK/år	CO <sub>2</sub> -emissioner, tons CO <sub>2</sub> pr. år (%-vis reduktion)	CO <sub>2</sub> -reduktionsskyggepris, DKK/ton CO <sub>2</sub>
Ledningsgas	71.000.000	2.900	
Elektrificering	73.000.000	1.300 (56%)	1.100
Produktionsomlægning væk fra grå tegl	-	2.800 (2%)	-



## Konklusion

Ved omlægning fra naturgas til biogas vil der være en stor CO<sub>2</sub>-besparelse uden meromkostning for virksomheden. Dette vil dog kræve, at andelen af biogas i den danske ledningsgas øges. Virksomheden udtrykker selv, at en elektrificering af anlægget er mulig, men at det kræver, at der investeres i et helt nyt produktionsapparat. Derfor er skyggeprisen for elektrificering et udtryk for, hvad det koster at reducere udledningen med en ton CO<sub>2</sub>, når virksomheden udskifter hele fabrikken grundet den tekniske levetid. Casen om elektrificering skal også læses med en del forbehold, da den ikke er bygget på en konkret case fra teglindustrien.

# Case om fossiludfasning i Haldor Topsøe



## Nuværende installation

Haldor Topsøe er en global producent af katalysatorer med hovedsæde og produktion i Danmark, hvor 21 produktionslinjer ligger. Produkterne gennemgår en række energikrævende processer, som primært benytter ledningsgas. Den mest energikrævende proces er spraytørring af uorganisk pulver ved omkring 700 °C. Pulveret kan dernæst brændes eller sintres, hvilket foregår ved temperaturer på 800-1100 °C i båndovne, roterovne og skaktovne. Derudover sker tørring af biprodukter som kaliumnitrat med varm luft på omkring 200 °C.

Mens den overvejende brændselstype endnu er ledningsgas, har Haldor Topsøe allerede elektrificeret enkelte ovne. Hvor eksempelvis cementproduktion kræver temperaturer på op mod 1.500 °C, og derfor vanskeligt kan elektrificeres, findes i dag på markedet el-opvarmede ovne til processer ved op til 1.350 °C. Det er altså muligt at elektrificere katalysatorproduktionen, da brændingen sker ved 800-1.100 °C. Ligeledes bør det være muligt at elektrificere den indledende spraytørring, selvom et spraytørringsanlæg baseret på varmepumper og elkedler ikke kan nå de samme temperaturer som et gasfyret anlæg.



## Elektrificering

Denne case fokuserer på spraytørringen af det uorganiske pulver, som tegner sig for godt en tredjedel af det samlede energiforbrug. Haldor Topsøes spraytørring anvender høje temperaturer, fordi de optimerer tørringsprocessen, så anlægget kan producere så meget tørret pulver som muligt. Den høje temperatur på 700 °C er ikke afgørende for selve produktet, hvilket åbner for muligheden for at elektrificere processen ved anvendelse af spraytørring ved lavere temperaturer, som kan leveres med varmepumper og elkedler.

Spraytørring elektrificeres ved hjælp af damp produceret af en kombination af MVR (Mechanical Vapor Recompression) og varmepumper. Varmepumper leverer temperaturer op til 90 °C, som boostes med MVR op til ca. 200-220 °C. Den samlede virkningsgrad i systemet bliver vurderet til ca. 1.95 hvilket giver en betydelig energibesparelse i forhold til et lignende anlæg på ledningsgas.

Spraytørring baseret på damp fra varmepumper og MVR bliver anvendt i f.eks. mejerier til produktion af mælkepulver. Damp kan ikke levere de samme høje temperaturer som ledningsgas. Dermed skal anlægget være væsentligt større for at levere den samme mængde pulver. Pladsmangel kan dermed være en barriere for elektrificering. Casen er i høj grad beregnet ud fra en tilpasning af en case om mælkepulver, og resultaterne skal tolkes med stor forsigtighed. En anden praktisk barriere for elektrificering er risikoen for tilstopning af dyser mv. grundet den langsommere tørring. Det har ikke været muligt at undersøge disse barrierer yderligere.

Scenarie	Annuserede totalomkostninger, DKK/år	CO <sub>2</sub> emissioner, tons CO <sub>2</sub> pr. år (%-vis reduktion)	CO <sub>2</sub> reduktions skyggepris, DKK/ton CO <sub>2</sub>
Naturgas	10.000.000*	10.200	
Elektrificering	12.000.000*	2.700 (73%)	200

\* Medtager kun omkostningselementer, der ændrer sig ved elektrificering. Merinvestering, brændstofforbrug.



## Konklusion

Elektrificering kan medføre en CO<sub>2</sub>-reduktion på godt 70% til en skyggepris på ca. 200 DKK/ton CO<sub>2</sub>. Der er regnet på en merinvestering ved retrofit fra gas. Investeringstallene i tabellen ovenfor indeholder altså ikke investeringen i hele produktionsanlægget, kun merinvesteringen i varmepumper og MVR og tilpasninger.

Det er vigtigt at holde sig for øje, at denne case er bygget på en case om spraytørring af pulvermælk. Der er ikke taget hensyn til, at forskellen i temperaturer betyder, at kapaciteten på anlægget ikke bliver den samme. Der er altså betydelige usikkerheder forbundet med estimerne. Tallene kan dog give inspiration til overvejelser om at undersøge casen nærmere.



## 1 Referenceliste

### Aalborg Portland:

- > Energistyrelsen, »Teknologikatalog for procesvarme og carbon capture, Dataark for industriel og procesvarme og cc,« Oktober 2020. [Online]. Available: <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/teknologikataloger/teknologikatalog-procesvarme-og-carbon>. [Senest hentet eller vist den August 2021].
- > »CO2-rapportering og -returnering, Energistyrelsens standardfaktorer for tidligere år (2005-2019),« 2020. [Online]. Available: <https://ens.dk/ansvar-somraader/co2-kvoter/stationaere-produktionsenheder/co2-rapportering-og-returnering>. [Senest hentet eller vist den August 2021].
- > A. Portland, »MILJØREDEGØRELSE 2018 - Grønt regnskab og arbejdsmiljø,« Aalborg Portland, 2018.
- > A. Portland, »Dansk cementproduktion,« 2021. [Online]. Available: <https://www.aalborgportland.dk/om-aalborg-portland/dansk-cementproduktion/>. [Senest hentet eller vist den August 2021].
- > A. Portland, »Investering i gas skal sikre markant CO2-reduktion hos Aalborg Portland,« 23 02 2021. [Online]. Available: <https://www.aalborgportland.dk/investering-i-gas-skal-sikre-markant-co2-reduktion-hos-aalborg-portland/>. [Senest hentet eller vist den August 2021].
- > Oplysninger fra casedeltager.

### Tung intern transport:

- > Bellona, »Elektrifisering av kystfiskeflåten – Slik kan 3000 båter halvere sine utslipp,« 2017.
- > Toyota, »Datablad, motordrevne gaffeltruck 3.5-8.0 ton«. [Online]. Available: [https://media.toyota-forklifts.eu/published/20118\\_Original%20document\\_toyota%20mh.pdf](https://media.toyota-forklifts.eu/published/20118_Original%20document_toyota%20mh.pdf). [Senest hentet eller vist den September 2021].
- > Toyota, »Datablad, Elektrisk gaffeltruck 2.5-5.0 ton«. [Online]. Available: [https://media.toyota-forklifts.eu/published/21481\\_Original%20document\\_toyota%20mh.pdf](https://media.toyota-forklifts.eu/published/21481_Original%20document_toyota%20mh.pdf). [Senest hentet eller vist den September 2021].
- > Volvo, »ECR25D | Gravemaskiner«. [Online]. Available: <https://www.volvoce.com/danmark/da-dk/entreprenoermaskiner-as/products/excavators/ecr25d/>. [Senest hentet eller vist den September 2021].
- > Volvo, »ECR25 Electric | Elektrisk maskiner«. [Online]. Available: <https://www.volvoce.com/danmark/da-dk/entreprenoermaskiner-as/products/electric-machines/ecr25-electric/>. [Senest hentet eller vist den September 2021].
- > Priser på gravemaskiner oplyst af forhandlere (Toyota Material Handling og Sylvester A/S).

### Produktion af mineraluld:

- > M. M. R. Krijgsman, »DECARBONISATION OPTIONS FOR THE DUTCH STONE WOOL INDUSTRY,« Midden, 2019.
- > E. Commission, »Best Available Techniques (BAT) Reference,« Joint Research Centre Institute for prospective technological studies, 2013.

### Arla:

- > F. Bühler, B. Zühlsdorf, T.-V. Nguyen og B. Elmegaard, »A comparative assessment of electrification strategies for industrial sites: Case of milk powder production,« *Applied Energy*, nr. 250, pp. 1383-1401, 2019.



### Monier A/S Volstrup Teglværk:

- > Oplysninger fra casedeltager.

### Haldor Topsøe:

- > H. Topsoe, »Sustainability Report,« Haldor Topsoe A/S, 2020.
- > F. Bühler, B. Zühlsdorf, T.-V. Nguyen og B. Elmegaard, »A comparative assessment of electrification strategies for industrial sites: Case of milk powder production,« *Applied Energy*, nr. 250, pp. 1383-1401, 2019.
- > Oplysninger fra casedeltager.