

# Jeg har syndet

Claus Mølgaard, 2020

Jeg har syndet – jeg har igennem 22 år, som freelance produktudvikler i designbranchen været med til at udvikle 50 plasticstole, hvor af kun én vel kan siges at have et bæredygtigt element i sig – S-1500 designet af Snøhetta og produceret af NCP i Norge (nederste række tredje fra højre). Plasticaskallen er produceret af recyklet plastic fra den lokale Norske fiskeindustri.



Figur 1 – 50 plastic stole

Uden at bede om forladelse for synderne vil jeg prøve at opridse syndens størrelse og komme med et bud på hvordan, man i fremtiden kan fremstille plastic stole, der er bæredygtige og CO2 neutrale.

På verdensplan produceres årligt ca. 359 millioner tons plastic<sup>1</sup>. I Europa betyder det, at 4% til 6% af vores olie- og gasforbrug anvendes til fremstilling af plastic<sup>2</sup>. Her af bliver ca. halvdelen omdannet til plastic. mens den anden halvdel bliver brugt til den energi, der skal til, for at omdanne olie og gas til plastic (destillation, pyrolyse, polymerisation, m.m.). De billigste plastic typer som polyætylen og polypropylen bruger mindre energi, mens de dyre typer som nylon, akryl og polykarbonat kræver mere energi.

Jeg mener, at man i fremtiden skal producere plastic baseret på fornyelige ressourcer. Det vil sige man skal omdanne noget af det kulstof, der er lejret i vores vegetation til plastic. Dette kræver en del energi, så det er meget vigtigt, at der bliver skabt rigeligt med energi, som ikke forurener (sol, vind, etc.). Samtidig skal man sørge for, at jordens kulstofkredsløb ikke bidrager med mere CO2 til atmosfæren. Dette gøres ved at

<sup>1</sup> M. Garside, "Global plastic production 1950-2018", *Statista*, November 2020

<sup>2</sup> British Plastic Federation, "Oil Consumption", Maj 2019

sikre at den rette mængde kulstof er "lageret" i vores produkter og vegetationen. Summen er, at man på denne måde kan skabe CO2 neutrale plastic materialer.

Men er det muligt og realistisk? Det kan du læse om i dette notat.

### **Hvorfor er plastic overhovedet interessant?**

Støbning af plastic har den store fordel, at man i princippet producerer uden affald (i hvert tilfælde hvis man har ville investere i produktions forme med indbyggede varme indløbssystemer) og man kan nøje designe og konstruere produkterne på en sådan måde, at man kun bruger materialerne, hvor de er nødvendige. Modsat arbejde med træ, hvor der produceres en del affald, hvis man fræser sig frem til produktets geometri. Eller kun har mulighed for at lave flader, hvis man arbejder med krydsfiner. Træ er selvfølgelig CO2 neutralt og vil på den måde ofte resultere i mere miljøvenlige produkter end plasticen, men det afhænger selvfølgelig også af materialeforbruget og den mængde energi, der skal til for at fremstille produktet.

### **Kan man fremstille plastic af fornyelige ressourcer?**

Mit bud på en fremtidig fremstilling af plastic, er at den skal fremstilles af fornyelige ressourcer (vegetation). Plasticen bør desuden som minimum have samme egenskaber, som den plastic vi kender i dag. Det skal være plastic, der er fremstillet kontrolleret og rationalt – altså ikke noget, som er rørt sammen på "må og få" i en gryde.

Der findes allerede plastic typer baseret på kulstof fra vegetation. Et eksempel er PLA, som oftest er lavet med udgangspunkt i majsstivelse. PLA er desuden ofte bionedbrydeligt, hvad jeg ikke finder særligt smart, da materialet over tid vil få ringere egenskaber og i øvrigt alligevel nedbrydes til CO2 og metan, når det nedbrydes i naturen. Når plastic mærkes som bionedbrydeligt, appellerer det brugeren til at smide plasticen, hvor det behager sig, i den grønne natur eller i havet. Det er miljømæssigt langt bedre at recycle, forbrænde eller forgasse den bionedbrydelige plastic. Det eneste det bionedbrydelig gør, er at hjælpe menneskehedens dovenskab – man gider ikke bringe plasticen hen, hvor den høre hjemme efter endt brug.

Mere interessant er nogle metoder, hvor man med udgangspunkt i plantematerialer fremstiller de monomere, som anvendes til at fremstille selve plasticen (polymeren). Der ser der ud til at være 2 generelle spor:

- Spor 1 anvender sukker, der gæres til alkohol og ved en kemisk dehydreringsproces omdannes til ætylen, som er den monomer, der anvendes til fremstilling af polyætylen. Ætylen er også en "byggesten", der anvendes til fremstilling af PVS og polystyren. Kilde: <sup>3</sup>
- Spor 2 anvender lignin, der udgør 20-30% af tørstoffet a planter. Ved pyrolyse, som er en proces, hvor ligning opvarmes til høje temperaturer, uden der er ilt til stede, omdannes ligning til blandt andet aromatiske kulstofforbindelser. Kulstofforbindelserne som med traditionelle petrokemiske processer kan destilleres og reageres videre til de monomere, der anvendes til fremstilling af plastic – polymeriseringsprocessen.

---

<sup>3</sup> Valentina Siracusa and Ignazio Blanco: "Review: Bio-Polyethylene (Bio-PE), Bio-Polypropylene (Bio-PP) and Bio-Poly(ethylene terephthalate) (Bio-PET): Recent Developments in Bio-Based Polymers Analogous to Petroleum-Derived Ones for Packaging and Engineering Applications", Polymers, MDPI, October 2020

Det ser ud til, at man er længst fremme med "sukker" sporet. Der er allerede en tilgængelig polyætylen på markedet ved navn "I'M GREEN™", som er produceret af det Brasilianske firma Braskem. Etisk kan det være problematisk at anvende sukker til fremstilling af plastic, da sukker jo i princippet er en fødevarer.

Lignin sporet er interessant, da lignin ikke er en fødevarer, men dette spor er formentlig væsentlig mere energikrævende, da pyrolyseprocessen med den høje temperatur, bruger meget energi.

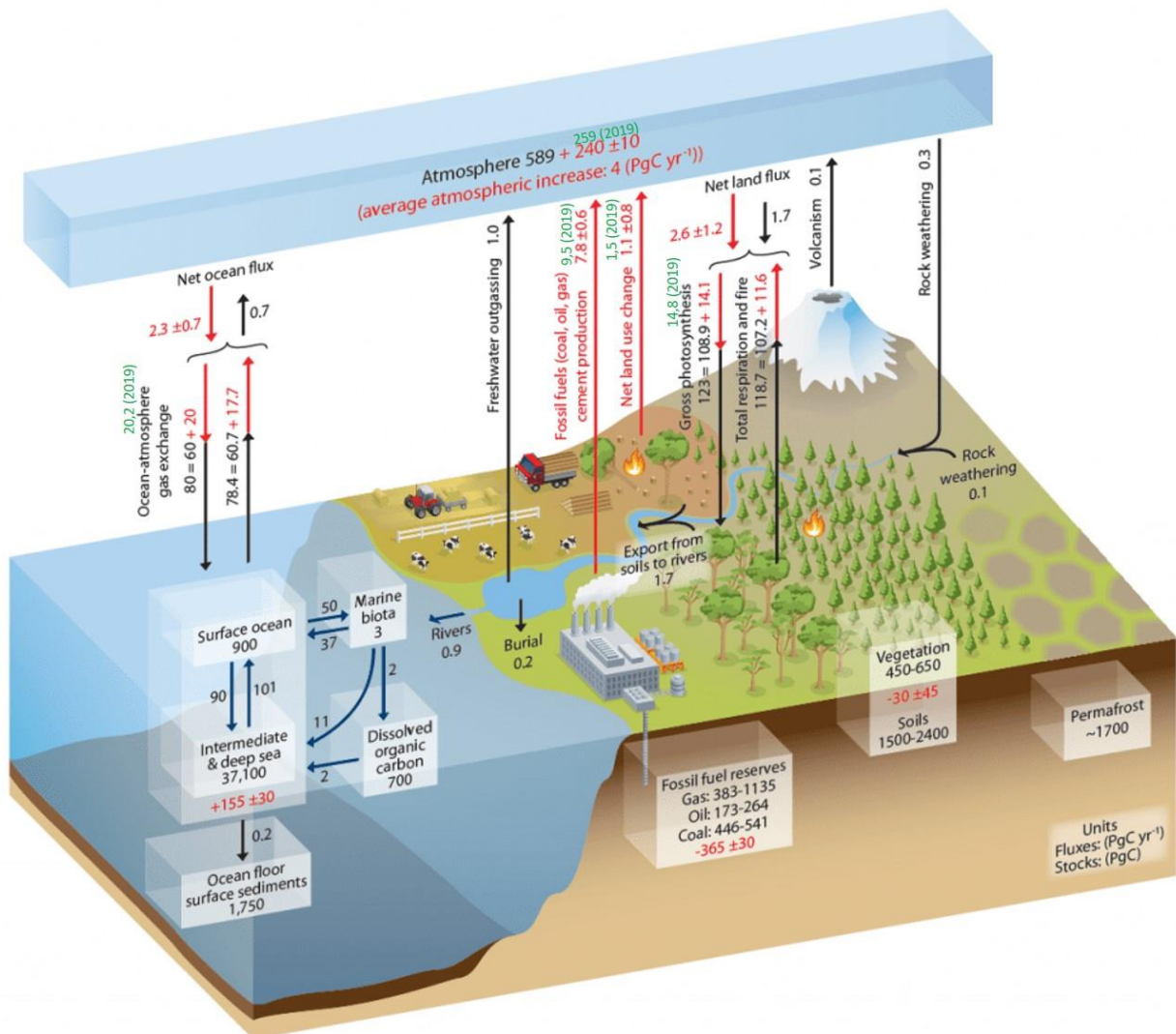
### **Hvorfor skal vi bruge fornyelige ressourcer?**

Nå man taler om bæredygtighed, bør vi tage udgangspunkt Brundtlands rapportens definition: *"En bæredygtig udvikling er en udvikling, som opfylder de nuværende behov, uden at bringe fremtidige generationers muligheder for at opfylde deres behov i fare"*. Det betyder, at vi skal opføre os således, at vi opfører os ordentlig over for de mennesker, der lever på jorden i dag og samtidig opføre os på en måde, at fremtidige beboere af jorden også kan få opfyldt deres behov. Behov for føde, bolig, beskyttelse, m.m. Man kan sige: vi skal sørge for at jorden kan genere de samme ressourcer, som den kan i dag. Vi må således ikke forgifte jord og hav, så der ikke kan genereres føde og materialer og samtidig skal vi sikre, at de materialer, vi har her i dag, ikke forsvinder eller udtyndes i en sådan grad, at de ikke længere vil være tilgængelige.

Hvis vi antager, at det er korrekt, hvad stort set al forskning gør, at klimaforandringerne vil gøre det vanskeligere for fremtidige generationer at bo og leve på jorden, er det vigtigt at mængden af drivhusgasser i atmosfæren ikke stiger. Ca. 73% af de menneskeskabte drivhusgasserne (hovedsageligt CO<sub>2</sub>) skyldes afbrænding af fossilt brændsel (olie, gas og kul) og er relateret til vores energiproduktion i form af elektricitet, opvarmning af bygninger og forbrændingsmotorer til transport og produktion. Ud over drivhuseffekten har afbrænding af fossilt brændsel også indflydelse på forurening og miljøbelastning af luften i vores nærmiljø med kvælstofoxider, ozon, svovldioxid, tjærestoffer og flygtige organiske forbindelser, det er dog gasser man kan rense sig ud af, men kunne også være et par ekstra grunde, til at overveje om forbrænding af fossilt brændsel er fornuftigt. I øvrigt vil man, ved at bruge alt olie, gas og kul fra undergrunden, frarøve fremtidige generationer muligheden for at kunne skabe produkter ud af disse ressourcer.

Et godt overblik over hvad der egentlig sker i atmosfæren, kan man få ved at kigge på det globale kulstofkredsløb, se figur 2 på næste (tabel 1 i appendiks). Her kan man se at årligt udledes ca. 9,5Gt (Gigaton) kulstof til atmosfæren fra afbrænding af fossilt brændsel samtidig medfører skovfældning et øget kulstofindhold på 1,5Gt. I alt øger den menneskelige aktivitet altså kulstofindholdet i atmosfæren med 11Gt, som er lageret i atmosfæren hovedsageligt i form af CO<sub>2</sub>. Det er dog således at både jorden og oceanerne optager noget af dette kulstof, således at det øgede kulstofindhold i 2019 i atmosfæren skulle være 5,3Gt. Det hele er selvfølgelig noget usikkert og man skal huske på at atmosfæren indeholder samlet omkring 845Gt kulstof, hvor af man mener de ca. 259Gt er menneskeskabte.

Det årlige plasticforbrug på 359 millioner tons plastic indeholder ca. 285 millioner tons kulstof, hvilket udgør mellem 0,04% og 0,06% af det kulstof, der er bundet i vegetationen. Det burde således være muligt at udvinde tilstrækkelig mængde kulstof af vegetationen uden at skade kulstofkredsløbet.



Figur 2 - Kilde: FN's klimapanelers rapport "Climate change 2013" og Earth System Science Data "Global Carbon Budget 2019". Data med rød fra 2000-2009, data med grøn fra 2019

Genbrug af plastic produkter og recycling af plastic materialer er oftest fornuftigt, hvis ellers det "nye" produkt har en nytteværdi. Ofte vil det ikke være muligt, at recycle plasten på en måde, hvor den får nytte, da materialet kan være delvist nedbrudt, forurenet eller blandet med andet. I disse tilfælde kan man foretage en "atomar recycling". Det betyder at man afbrænder plasten, hvor der udledes CO<sub>2</sub>, som så ved solens hjælp og fotosyntesen danner ny vegetation, der kan anvendes til at fremstille ny biobaseret plastic. Det er selvfølgelig vigtigt, at man med denne recyclings strategi opretholder kulstoflagerene i vegetationen, der skal altså plantes skov eller andet i samme omfang, som der brændes plastic af.

Valgte man at afbrænde alle 359 millioner tons plastic, ville det forøge den årlige menneskeskabte udledning af CO<sub>2</sub> til atmosfæren med ca. 3%.

## Er det teoretisk muligt at skaffe al den nødvendige energi?

Man kunne selvfølgelig overveje at afbrænde vegetation af og på den måde skaffe sig energi. Det er således at vegetationen på jorden indeholder mellem 375Gt og 656Gt kulstof, så der skulle være nok til klare vores energiforbrug. Men hvis vi ikke sørger for, at der via fotosynteses bindes lige så meget kulstof i vegetationen, er vi lige vidt og vil forøge atmosfærens indhold af kulstof og dermed også CO<sub>2</sub>.

Jeg vil mene, det må være det mest fornuftige at anvende vegetationen til at skabe fødevarer og materialer og så skabe energi, der ikke forurener fra andre fornyelige ressourcer. Energien skal bruges til at konvertere og forædle vegetationen til brugbare fødevarer og materialer.

Det er således, at solen hvert år leverer 3.850.000 EJ (Exajoule) energi til jorden, hvilket er ca. 6.375 gange større end vores samlede energiforbrug, som var 604 EJ i 2019. Så man skulle mene, at det på en eller anden måde vil være muligt at "høste" energi nok, til at vi ikke behøver at brande fossilt brændsel.

Endvidere anslø UNDP (FN-organ) i 2000 at potentialet for solenergi er mellem 1.575–49.837 EJ<sup>4</sup>, altså noget mere end vores behov i dag.

Cristina L. Archer og Mark Z. Jacobson<sup>5</sup> mener at potentialet for vindenergi er 2.260 EJ, også noget mere end vores behov i dag.

## Er det praktisk muligt?

Solcellers effektivitet afhænger af hvor på jorden, de er placeret. Men et godt bud er, at de kan levere 150 kWh/m<sup>2</sup> pr. år, hvilket svarer til 0,54 GJ/m<sup>2</sup>. For at dække det samlede energiforbrug på 604 EJ, skal der bruges 1.118.519 km<sup>2</sup> solceller eller 0,75% af jordens landoverflade (1% er allerede brugt til menneskets infrastruktur – veje og byer<sup>6</sup>) eller et område omtrent lige så stort som Frankrig, Tyskland og Italien til sammen.

Dagens 9MW havvindmøller kan producere ca. 36.000 MWh (130 TJ) om året. Behovet vil således være lidt mere end 4,6 millioner havvindmøller Worldwide. En 9MW havvindmølle har en diameter på ca. 160m, det vil sige at møllerne vil strække sig (vingespids mod vingespids) over 743.385km eller ca. 19 gange rundt om ækvator!

Ifølge Vestas koster en vindmølle ca. kr. 5,5 millioner pr. MW<sup>7</sup> eller samlet astronomiske kr. 229.770 milliarder som udgør 43% af verdens samlede BNP på kr. 552.497 milliarder<sup>8</sup>

Derudover skal der investeres i store infrastrukturelle ændringer. Der skal udvikles systemer til lagring af energi og nye forsyningssystem. Desuden skal store dele af produktion og transportsystemet omstilles til

---

<sup>4</sup> Dennis Anderson, m.fl., "Energy and the challenge of sustainability", *United Nations Development Program*, September 2000

<sup>5</sup> Cristina L. Archer og Mark Z. Jacobson, "Evaluation of global wind power", *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, AGU Journal, June 2005

<sup>6</sup> Hannah Ritchie, "Half of the world's habitable land is used for agriculture", *Our World in Data*, November 2019

<sup>7</sup> Ritzau Finans, Analytiker, "To priser presser Vestas' indtjening", *Energy Watch*, August 2018

<sup>8</sup> The World Bank, "World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files", *The World Bank website*, 2020

elektricitet og/eller der skal udvikles metoder til fremstilling brændstof baseret på CO<sub>2</sub> eller biologiskmateriale, som der arbejdes med på DTU<sup>9</sup> <sup>10</sup>.

Dette notat omhandler kun dagens energiforbrug. Der kommer stædig flere beboere på jorden og beboere i ulande kræver et større forbrug med dertil hørende højere energiforbrug.

Om det er realistisk eller ej, at producere al den energi, vi skal bruge på jorden udelukkende på sol og vind, vil jeg ikke gøre mig til dommer over, men det kræver nogle meget store internationale beslutninger, hvis det skal kunne lade sig gøre. Og vi må altid huske på, at det vil gøre det nemmere, hvis vi i fremtiden ikke forbruger så meget energi.

Vi må naturligvis ikke glemme de store potentialer, der kan være i fusions- og fissions energi (atomkraft), samtidig med at risikoen for ulykker og problemer med radioaktivt affald skal være en del af analysen

Alle tal i dette notat er baseret på skøn og estimater, som er multipliceret på kryds og tværs og der kan have indsneget sig regnefejl, så det hele skal tages med et gran salt, men det giver en udmærket fornemmelse for proportionerne i de udfordringer vi står over for.

---

<sup>9</sup> Theis L. Skaftø, m.fl., "Selective high-temperature CO<sub>2</sub> electrolysis enabled by oxidized carbon intermediates", *Nature Energy*, volume 4, September 2019

<sup>10</sup> Sanne Wittrup, "Pyrolyse kan halvere udledning fra Landbruget", *Ingeniøren*, September 2020

## Appendiks

2019			
	Before industrialization	Anthropogenic	Total
<b>Carbon cycle</b>	Gt	Gt	Gt
Ocean - atmosphere	60,7	17,7	78,4
Respiration and fire	107,2	11,6	118,8
Freshwater outgassing	1		1
Volcanism	0,1	0	0,1
Fossil + cement		9,5	9,5
Deforestation		1,5	1,5
Burial	0,2		0,2
<b>Total</b>	<b>169,2</b>	<b>40,3</b>	<b>209,5</b>
Atmosphere - ocean	-60	-20,2	-80,2
Photosynthesis	-108,9	-14,8	-123,7
Stone	-0,3		-0,3
<b>Total</b>	<b>-169,2</b>	<b>-35</b>	<b>-204,2</b>
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>5,3</b>	<b>5,3</b>
	Before industrialization	Anthropogenic	Total
<b>Carbon stocks</b>	Gt	Gt	Gt
Atmosphere	586	249 to 269	835 to 855
Ocean surface	900		900
Ocean deep sea	37.100	125 to 185	37.225 to 37.285
Ocean floor surface - sediments	1.750		1750
Marina biological	3		3
Dissolved organic carbon in sea	700		700
Gas	383 to 1.135		
Oli	173 to 264		
Coal	446 to 541		
<b>Gas Oli and Coal total</b>	<b>1.002 to 1.940</b>	<b>-395 to -330</b>	<b>607 to 1610</b>
Vegetation	450 to 650	-75 to 15	375 to 665
Earth	1.500 to 2.400		1.500 to 2.400
Permafrost	1.700		1.700

Figure 1

Figure 2

Figure 3

Tabel 1: Kilde: FN's klimapanelers rapport "Climate change 2013" og Earth System Science Data "Global Carbon Budget 2019"