

Fremtidens nedbrydelige plastik

Formidlingstekst – Andreas Sommerfeldt

PhD i organisk kemi og nanoscience ved Aarhus Universitet – August 2020.

Jeg har opfundet en ny type plastik, som nedbrydes, når jeg siger, det skal. Ovenikøbet falder det sammen til dets byggesten, der kan genanvendes direkte. Det lyder jo næsten for godt til at være sandt, og derfor må jeg med det samme slå fast, at den ikke kommer til at erstatte din vandflaske eller engangsservice lige med det samme. Blandt andet fordi jeg har ikke fortalt om prisen endnu.

I denne formidlingstekst vil jeg beskrive, hvorfor en nytænkning af plastik er relevant og nødvendig for en grøn omstilling. Jeg vil beskrive, hvilke overvejelser der ligger til grund for at starte på en frisk med en helt ny type plastik, frem for forskning i de nuværende gængse typer. Jeg vil præsentere en simplificeret opsummering af den kemi, der har lagt til grunde for min forskning, ved brug af legoklodser som analogi for kemiske forbindelser. Til sidst vil jeg benytte denne viden til at beskrive en ny, og på mange måder anderledes, plastik. En plastik, hvor der stadig er plads til forbedringer, men som konceptuelt har vidtrækkende potentiale som nedbrydeligt alternativ til det plastik vi kender i dag.

Nødvendigheden for plastikforskning

Plastik forurener vores natur og er årsagen til en miljøkatastrofe under opsejling, og derfor skal der være et fokus på grøn omstilling snarest mulig. Dette var hovedbudskabet, da jeg startede mit Ph.d.-studie. Men til min overraskelse var der et utal af komplikationer ved genanvendelse af plastik, som begrænser os fra en snarlig grøn omstilling.

Man kan omsmelte de fleste former for plastik, hvis det er rent – helt kemisk rent. Det kræver, at hver type plastik skal sorteres med sin egen type. F.eks. kan et fiskenet (lavet af nylon), en vandflaske (lavet af PET), og en indkøbspose (lavet af PP) omsmeltes og genanvendes, men kun hvis alle tre henholdsvis er separeret fra hinanden (mht. deres type; altså fiskenet, plastflaske og indkøbspose hver for sig). Skulle der ske en fejlsortering, så er tolerancen for blandinger af typer yderst lav. En plastblanding bestående af 98% den første og 2% af den anden type, kan således ikke omsmeltes uden videre komplikationer. Det kræver et stort oprydningsarbejde af affald, som næppe kan overlades til forbrugerne, der i forvejen kæmper med blot at sortere husholdningens plastaffald for sig selv. Derfor vil det naturligt også være et meget stort arbejde, at subsortere affald efter dets kemiske bestanddele

Vi søgte derfor en nytænkning, hvor sortering helt kan udelades ved i stedet at kigge på en kemisk genanvendelse. Men også her er vi begrænset. Denne gang af plastikkens veludviklede robusthed over for ethvert kemikalie. Kort sagt, vi kemikere, er blevet for gode til at lave plastik. Plastik, der er så kemisk stærkt, at vi ikke selv kan nedbryde det igen. Ud fra denne indsigt vurderede vi, at manglen på genanvendelse i plastikindustrien næppe skyldes hverken incitament fra producenter eller købere, men i høj grad også en mangelfuld portefølje af genanvendelige materialer til at starte med.

De kemiske byggesten – kemikerens legoklodser

Lad os starte fra begyndelsen. Som kemiker arbejder man med en form for avanceret Lego, hvor klodserne består af molekyler og atomer, og hvor der eksisterer et sæt af regler for, hvordan de kan kombineres. Når man specifikt vil bygge en plastik op, så samler kemikeren sine legoklodser til lange, ensformige kæder. Det handler om at få lavet kæden så lang som muligt, for så begynder den at opføre sig som plastik.

Men det er ikke kun længden på kæden, der er afgørende for dens egenskaber. For at blive i Lego-analogien, så er det også afgørende, *hvilke* klodser man bruger. F.eks. kunne en blå klods være en klods, som er opløselig i vand. Bruger man derfor udelukkende de blå Legoklodser, resulterer det i en kæde, altså en plastik, som kan skylles væk med vand. Der er altså en sammenhæng mellem klodser, altså byggesten, og det resulterende materiale.

Ligeledes, hvis man vil have en robust plastik, så vælger man de mest sejlvivede legoklodser, man har – dem, der kan tåle at blive trådt og trampet på, og kombinerer dem til en plastikkæde. Og her støder vi på problemets kerne. Plastik blev opdaget for 100 år siden. Siden dets opdagelse har man fokuseret på at forbedre dets styrke, så det kan holde tonstung belastning eller tåle tårnhøje temperaturer uden at smelte. Der er en håndfuld legoklodser der er mere sejlvivede end de andre, og dem har man udviklet og forbedret på i 100 år. Tilbage i skuffen ligger så de kedelige, dårlige legoklodser – dem, der går i stykker, når man tramper på dem. For hvorfor skulle man dog bruge dem, når man kan få noget, der holder? Det skal man selvfølgelig, fordi plastik, der kan gå i stykker, er plastik man kan genbruge.

Den nye, nedbrydelige plastik

Min forskning har bestået af to dele. I den første del har jeg kortlagt plastiktyper. Heriblandt har det været at læse forskningsartikler igennem, bl.a. med fokus på gamle, tilsidesatte plasttyper, som tidligere har været lagt på hylden og blevet i forskningsverdenen, fordi de netop var for ustabile til dengang at se kommerciel anvendelse. Men der findes også nyere forskning. Her har jeg undersøgt de forskere, der netop forsøger at designe nedbrydelige materialer, selvom de ikke nødvendigvis har haft til øje at skabe plast.

Under denne litteraturgennemgang kom især ét vigtigt begreb frem. De såkaldte 'self-immolative polymers'. Frit oversat betyder 'immolativ' selvopofrelse eller ritualistisk selvmord. 'self' understreger, at dette er materialets egen intention og 'polymer' er navnet på den overordnede kategori af kemiske strukturer som plastik tilhører. Selv-immolative polymerer, er altså en slags selvopofrende plastik. Men der er endnu en tolkning, som ikke afsløres i navnet. For de selv-immolative polymerer ofrer sig ikke uopfordret. Derimod skal de sættes i gang ved en kommando fra omverdenen. Denne kommando igangsætter en kemisk proces, hvor de lange kæder, som var et kriterie for at vi havde en plastik, en ad gangen lader sig transformere til små kemikalier med markant anderledes egenskaber.

Det principielle design, som tillader selv-immolative polymerer at nedbryde på kommando, er nogenlunde forståeligt i hverdagstermer. En selv-immolativ plastik består af to komponenter; (i) en ustabil plastik, der ikke kan eksistere alene i længere tid og (ii) et kemikalie, der stabiliserer plastikken, så den kan eksistere alligevel. For den første komponent (i) kan vi vende tilbage til Lego-analogien. Det kemiske design af plastikken er sammensat af klodser, som ikke kan tåle at blive sammensat til kæder, således at den resulterende plastik vil nedbryde sig selv fra det øjeblik, den bliver dannet. Der er flere måder at designe dette kemisk. For at give en forståelse, vil jeg som eksempel bruge mit eget design, som danner fundament for den nye plastik. Her er hver sammenkobling ustabil, fordi klodserne ikke holder godt fast i hinanden. Man kan sige at disse klodser har ligget i skuffen, fordi deres design gør dem dårlige til at klikke sammen med de andre klodser, inklusiv sig selv. For at undgå nedbrydning tilsættes (ii) en kemisk stabilisator som blandes ud i hele plastikken. Herved dannes en såkaldt meta-stabil plastik, hvor komponent (ii) holder (i) fra at 'begå selvmord'. Her begynder Lego-analogien at vakle, men til første approksimation kan vi se komponent (ii) som en lim, der tilføjes i hvert led. For at opnå den essentielle egenskab om at nedbryde på kommando, fuldendes det selv-immolative design ved at bruge en specifikt dertil-designet stabilisator, lim, der mister sine stabiliserende egenskaber gennem en kemisk reaktion. Der eksisterer allerede et større udvalg af kemikalier, som ændrer egenskaber hvis, og kun hvis, de bliver udsat for f.eks. UV-lys, varme, rystelser, syre og base eller tilsætning af unikke kemikalier. Med disse stabilisatorer bliver en 'kommando' oversat til håndgribelige fænomener, som f.eks. brug af UV-lamper eller sollys, varme tilførsel eller til drypning af en væske, der resulterer i at limen holder op med at klistre.

Lad os kigge på et eksempel på en stabilisator, som ændrer sig ved belysning af UV-lys. Stabilisatoren er tilstede i plastikken og holder plastikken stabil. Ved min kommando, dvs. at tænde for en UV-lampe, ændrer stabilisatoren sig. Nu er den ikke længere i stand til at stabilisere plastikken, som derfor kan opofre sig selv. Den nedbrydes herved til mindre, kemiske legoklodser, som nemt kan separeres og genanvendes til nye strukturer. Man har, så at sige, transformeret plastik til kemikalier, som i modsætning til plastik, kan isoleres og bearbejdes med kemiske metoder.

Fra tanke til virkelighed

Den anden del af min forskning har foregået i et kemisk laboratorium. I denne del af projektet har jeg udviklet min egen plastik, bestående af selv-immolative polymerer. Efter grundige overvejelser, både alene og i tæt samarbejde med min vejledende professor, Kim Daasbjerg, fik jeg opfundet et, indtil nu overset, kemisk design, som både indeholdt de nødvendige egenskaber for at kunne danne plastik, og de nedbrydelige karakteristika som med høj sandsynlighed ville danne et nedbrydeligt materiale.

Det tog to års intenst arbejde i laboratoriet at føre dette design fra papiret ud i virkeligheden. I retrospekt skyldtes det lange arbejde hovedsageligt, at plastikken simpelthen var for god til at gå i stykker, og derfor ikke lod sig stabilisere som forventet. Det blev heldigvis løst, og den nye plastik, lad os kalde den Plastik-2, er nu så veludviklet, at den kan laves som en standard procedure i vores laboratorier.

Der var flere overraskende resultater gennem udviklingsprocessen. Mest bemærkelsesværdigt, så kan Plastik-2 dannes ved hjælp af de mest basale remedier. Det tåler ikke kemiske opløsningsmidler eller vand under dets dannelse, men skal derimod skabes kun fra dets startmateriale og stabilisatoren i en 1:1 blanding, som omrøres til det former en hård plast, som derefter kan forarbejdes. For at illustrere simpliciteten i denne procedure producerede vi en kort (10 min.) video, hvor en medstuderende dannede Plastik-2 kun ved omrøring i en køkkenmørtel. Det skal understreges her, at simpliciteten af denne dannelse står i stærk kontrast til de nuværende selv-immolative polymerer, som alle kræver specialiseret udstyr og/eller iltfrie omgivelser for at dannes.

Ligeså fantastisk viste Plastik-2 sig at være utroligt hurtig til at nedbryde. På blot få minutter efter påbegyndelsen, startet på kommando ved omdannelsen af stabilisatoren, er plastikken forsvundet og erstattet med små kemikalier. Gøres det i tilstedeværelse af vand, vil disse kemikalier forsvinde ud i væsken og forsvinde fra det blotte øje. Sidst, men ikke mindst, kunne disse små kemikalier, som nu er opløst i vandet, transformeres tilbage til startmaterialet igen, og derfor kemisk genbruges til at danne ny Plastik-2. Sammenligner man igen med det eksisterende udvalg af selv-immolative polymerer finder man, at langt de fleste vil nedbrydes over en længere periode af timer, dage eller endda uger, og ikke engang fra deres faste form.

Det skal tilføjes, at det ikke kan anbefales at danne Plastik-2 i eget hjem, da startmaterialet i særdeleshed har fået H302 advarsel; farlig ved indtagelse. Modsat gældende er det for plastikken, der umiddelbart er forventet at være harmløs – om end den konkrete undersøgelse af dette endnu ikke er udført. Skulle man også være i stand til at sætte nedbrydelsen af Plastik-2 i gang, så er slutproduktet fundet harmløst, hvilket lover godt for en lav miljøbelastning, skulle drømmen om Plastik-2 som kommercielt plastik realiseres i fremtiden.

Fremtiden for det nye Plastik-2

De sidste 100 år har man forbedret og styrket det konventionelle plastik; de ”gode og stærke” legoklodser er blevet bedre og bedre, mens de dårlige blev liggende i skuffen uden at gennemgå den samme omhyggelige forbedringsproces. Derfor er der også punkter min nye plastik ikke kan hamle op med, når det sidestilles med andre plasttyper (som f.eks. nylon-fiskenettet, PET-flasken eller PP-posen). På nuværende tidspunkt koster Plastik-2 næsten 2000 kr./gram i råmaterialer, og så kan det for øvrigt ikke tåle sollys, uanset hvilken stabilisator, der tilsættes. Men sådan er forskning, og sådan var det helt sikkert også for 100 år siden, da man lavede de første syntetiske plastikker. I stedet for at give os tabt, har mine kollegaer og jeg ved Aarhus Universitet forsket videre

og er nu klar med Plastik-3. Den er skabt ud fra de samme koncepter, lignende legoklodser om man vil, og er både billigere og sollys-resistent. Desværre er den ikke nær så veludviklet endnu, og tager ugevis om at falde fra hinanden. Derfor må vi allerede nu begynde at tænke på Plastik-4. Heldigvis er skuffen af glemte legoklodser stadig åben, og der er rigtig mange, vi endnu ikke har prøvet.

Jeg vil slutte med en teaser. Plastik-2 er helt ny, og derfor er vi slet ikke færdige med at undersøge den til bunds. Men ideer er der nok af. F.eks. har vi forestillet os at bygge små ubåde fyldt med medicin. Vi ville så bruge et stabilisator design der går i stykker ved fx en cancercelle. Når ubåden nedbrydes frigives medicinen lokalt ved canceren – altså potentielt kan vi bruge Plastik-2 i behandling. Ligeledes, kan vi forestille os en membran af Plastik-2, hvor kommando-signalet er tilpasset til at reagere på et bestemt kemikalie, enzym eller protein som man vil identificere i sin væske. Hvis det er i væsken, vil membranen gå i stykker, og derved identificere tilstedeværelsen – altså potentielt kan vi bruge Plastik-2 som en sensor. Plastik, forstået som polymerer, optræder ofte i lim. Ergo forestiller vi os en lim, hvor vedhæftningen forsvinder på kommando, når Plastik-2 nedbrydes – altså bruge Plastik-2 som nedbrydelig og genanvendelig vedhæftning. Således ender min formidlingstekst på samme måde som min Ph.d. – med et blik ud mod fremtiden, og med lige så mange ideer, som vi havde, da projektet startede, nu blot med en ny baggrund og viden, der kan sikre spændende resultater fremover.

Jeg håber, at I vil finde min forskning lige så spændende som jeg selv finder den.

Med venlig hilsen

Andreas Sommerfeldt
andreassommerfeldt@gmail.com
Vintervej 31, 8210 Aarhus V, Denmark
+45 26363386