

Overblik over viden om nedbrydning af plastikaffaldstyper i den danske natur

Yvonne Shashoua* & Anders Bendtz Kanstrup

Miljøarkæologi og Materialeforskning
Nationalmuseet
IC Modewegsvej-Brede
2800 Kongens Lyngby
*telefon +45 41206481
*email yvonne.shashoua@natmus.dk

Opsummering

Formålet med dette projekt er at opsummere den nyeste viden og data om hvor lang tid det tager for plastikaffald at nedbrydes i naturen, for de typer af affald, der hyppigst ender i det danske landmiljø. Affaldstyperne er udvalgt baseret på resultaterne fra den nationale undersøgelse *Masseeksperimentet 2019*, der indsamlede plastikaffald i de danske naturtyper. Den nyeste viden om plastiks nedbrydning er indhentet ved en litteratursøgning af trykte og on-line publikationer fra 1977 og til 2020, herunder oversigtsartikler, originalforskning, datatabeller og infografikker. De udvalgte publikationer er de der kvantitativt beskrev nedbrydningstider for de 10 mest udbredte plastikaffaldstyper i terrestriske miljøer der mest ligner dem der findes i den danske natur, hvor affaldet er blevet udsat for høje koncentrationer af enten ilt, sollys, vind og vand, eller for mekanisk nedbrydning ved kontakt med vand, vind og partikler.

Selvom antallet af publicerede studier om plastikforurening er vokset betydeligt siden årtusindskiftet, har disse studier mest været fokuseret på havforurening, der ikke er emnet for den nuværende undersøgelse, og ikke så meget på forurening i landmiljøet. De betydelige forskelle der ses i de estimerede nedbrydningstider for sammenlignelige plastikprodukter, kan forklares med både de metoder der er anvendt, og det miljø nedbrydningen er foregået i. Resultater der er publiceret siden år 2000 viser to tydelige tendenser, i forhold til tidligere data. For det første, at de estimerede nedbrydningstider for plastik i naturmiljøerne er faldet, fra tidligere at være i størrelsesordenen tusinder af år, til nu at være hundreder af år. For det andet, at bionedbrydning er den mindst betydningsfulde nedbrydningsvej for plastik i landmiljøet, og først får betydning når den fysisk/kemiske nedbrydning har reduceret makroplastik til mikro- og nano-plastik.

Resultaterne af dette studie er præsenteret i form af en kort rapport, infografikker og datablade, der beskriver nedbrydningsveje og tider for hver af de 10 mest udbredte plastikprodukter, der findes henkastet i den danske natur. Målgruppen er personer der interesserer sig i hvorfor plastik nedbrydes i den danske terrestriske natur, hvordan nedbrydningsprocessen forløber og hvordan nedbrydningstider måles eller estimeres.

Overblik over viden om nedbrydning af plastikaffaldstyper i det danske miljø

Indhold

1. Hvordan kan man definere nedbrydning af plastik?
2. Hvad er de vigtigste nedbrydningsveje for plastikaffald?
3. Hvor lang tid tager det for plastikaffald at bryde ned i den danske natur?
4. Hvilke plastikaffaldstyper ses oftest bortkastet i Danmark, og hvor længe er de om at brydes ned?
5. Konklusion
6. Referencer

Bilag 1: Infografikker over faktorer der påvirker nedbrydningen af plastik i den danske natur og nedbrydningstider

Bilag 2: Oversigt over nedbrydningstider af de mest forekommende plastikaffaldstyper baseret på publicerede referencer

Bilag 3: Datablade: 10 eksempler på nedbrydningsveje for de hyppigst fundne plastikaffaldstyper

1. Hvordan kan man definere nedbrydning af plastik?

Nedbrydning af plastik defineres som en irreversibel proces, der resulterer i en målbar ændring af fysiske, kemiske eller biologiske egenskaber af materialet og graden af nedbrydning er en vigtig parameter til at vurdere muligheden for genanvendelse, for plastikprodukter der er i brug og efter at anvendelsen er ophørt. For eksempel om man kan genbruge eller genanvende produktet, og nedbrydningsgraden har også betydning for hvordan plastikken kan påvirke miljøet.

Plastik består af en eller flere polymerer (>99%), dvs. meget store molekyler (makromolekyler) der dannes ved kemisk at binde mange små gentagne enheder sammen, og tilsætningsstoffer der har betydning for plastikkens egenskaber. Typen og mængden af tilsætningsstoffer spiller en vigtig rolle for plastikkens evne til at modstå nedbrydning. Tilsætningsstofferne er som oftest ikke kemisk bundet til polymeren, og kan derfor vandre ud til overfladen under materialets nedbrydning, og ende i det omgivende miljø (Gewert et al, 2015). Tabet af tilsætningsstofferne gør plastikken mere sårbar over for nedbrydning.

Nedbrydningen afhænger meget af polymerblandingen, af tilsætningen af stabilisatorer og af det omgivende miljø. Den kan foregå abiotisk eller biotisk (Singh & Sharma, 2008). Abiotisk nedbrydning betyder at plastikken reagerer kemisk med ilt og lys (oxidation), eller med vand (hydrolyse) i miljøet. Kun disse processer kan klippe de lange polymerkæder over, og derved danne små enheder, der efterfølgende kan omsættes biotisk, dvs. ved hjælp af mikroorganismer.

Nedbrydningen kan beskrives ved at følge egenskaber som molekylvægt, polymerblandings sammensætning, mængden af tilsætningsstoffer, farveændringer, fragmentering og materialets fysiske styrke.

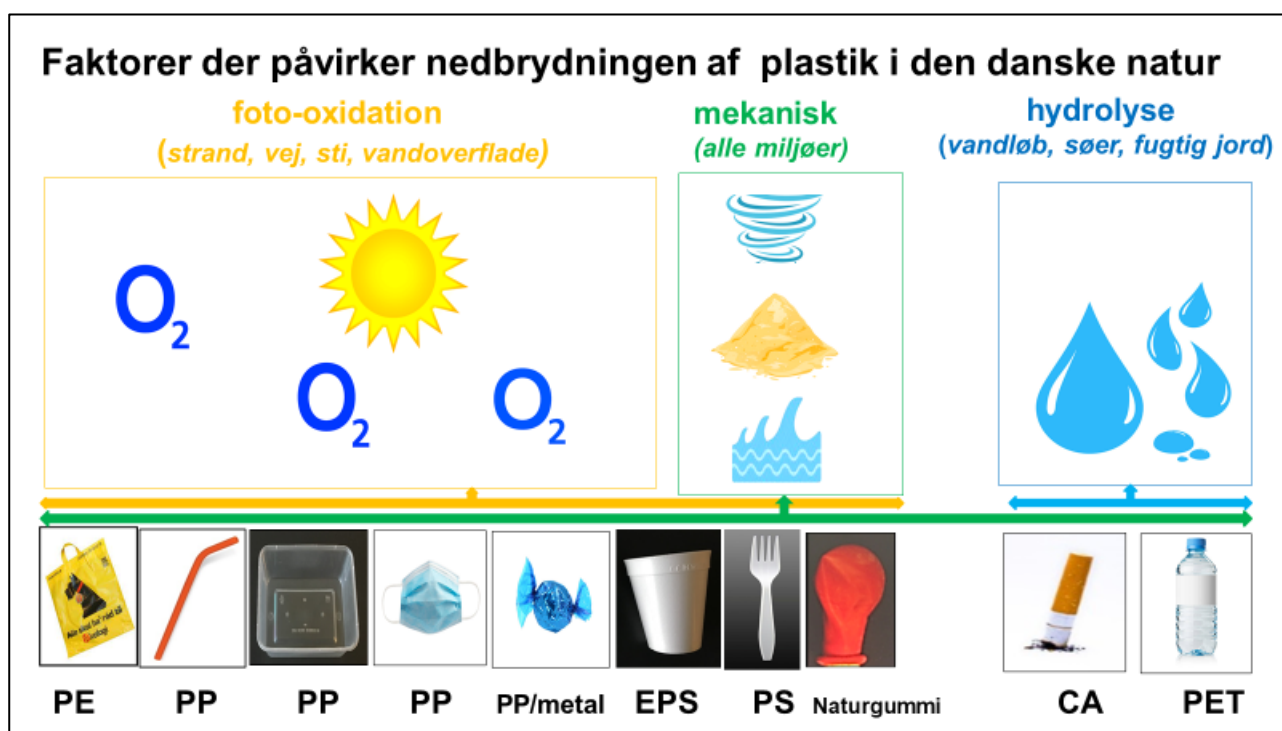
Siden mikroplastik blev defineret i 2004, har forskningen næsten udelukkende fokuseret på nedbrydningen af makroplastik (> 200mm) til mikroplastik (1µm - 5mm) og til sidst nanoplastik (<1µm), på land og i vandmiljøet (Thompson et al, 2004). Grunden hertil er at mikroplastik og endnu mindre plastikstykker kan optages og vandre rundt i levende væv. Fordi mikroplastik er fundet i alle naturmiljøer menes det at udgøre en trussel mod dyr og mennesker (Rodrigues et al, 2019). Et problem ved at fokusere på begrebet mikroplastik er at man derved kun forholder sig til partikelstørrelsen, der ikke fortæller noget om de kemiske egenskaber af plastikken. Det er således ikke undersøgt om alle plastiktyper, eller kun nogle få, kan nedbrydes til mikroplastik. Vand og CO₂ betragtes som værende de endelige slutprodukter af biologisk nedbrydning af plastik i miljøet (mineralisering) (Starnecker & Menner, 1996 & Kijchavengkul et al, 2006).

2. Hvad er de vigtigste nedbrydningsveje for plastikaffald i den danske natur?

Der er i hovedsagen fire måder som plastik kan nedbrydes på i naturen, enten alene eller i kombination.

- Oxidation
- Hydrolyse
- Mekanisk slid
- Bionedbrydning

Nedbrydningsvejen og hastigheden afhænger af de konkrete betingelser og plastikaffaldets tilgængelighed. Blandt miljøfaktorerne er iltmængden, intensiteten af UV-stråling, den relative luftfugtighed, temperaturen, styrken af vind og bølgeslag, mængden af slibende partikler og det mikrobiologiske miljø (Kyrikou & Briassoulis, 2007). Foruden miljøfaktorerne afhænger nedbrydningsprocessen også af polymertypen, og af mængden og typen af tilsætningsstoffer i plastikken, som f.eks. fyldstoffer, farvepigmenter og antioxidant (Figur 1).



Figur 1: Faktorer der påvirker nedbrydningen af plastik i den danske natur

Polymerer med kæder der kun består af kulstofatomer, som f.eks. polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS) og polyvinylchlorid (PVC), nedbrydes primært ved reaktion med ilt og lys (foto-oxidation), i udendørs miljøer med adgang til ilt (Gijsman et al, 1999). Disse plastiktyper udgør omkring 40% af plastikforbruget i Europa, og bruges meget til emballage og til engangsprodukter (SUP, single use plastic products), der med sin korte anvendelsestid har en høj sandsynlighed for at ende i miljøet (Plastics Europe, 2020).

Ultraviolet lys fra solen, med bølgelængde på 300nm og derover, aktiverer luftens ilt og muliggør at iltten kan reagere kemisk med polymerernes kulstofkæde (Andrady, 2011). Denne reaktion finder først sted på plastikkens overflade, hvor der er direkte kontakt med den aktiverede ilt. Oxidationen medfører at plastikken efterhånden bliver skør, revner og går i mindre stykker. Fragmenteringen vil så fremmes af mekanisk slid fra vind, vand, og sand- og saltpartikler. Da mikroplastik har en større overflade i forhold til sit rumfang end meso- og makro-plastik, vil oxidationen af plastik gå hurtigere efterhånden som fragmenterne bliver mindre. Når plastikstykkerne er nået til mikro- og nano-plastikstørrelse kan de metaboliseres af mikroorganismer (Zheng, 2005).

Ubrugte plastikprodukter kan ikke nedbrydes biologisk før polymerkæderne er blevet kemisk oxideret ned i størrelse, og har dannet carbonyl- og hydroxy-grupper, der kan angribes af mikroorganismer. Disse små polymerfragmenter kan passere over cellens membran og derefter bionedbrydes af cellens enzymer. Nogle mikroorganismer kan også sende polymernedbrydende enzymer ud af cellen (*Shah et al, 2008*).

Mikroorganismene omdanner den nedbrudte polymer til metan, CO₂ og vand. Denne omdannelse kaldes mineralisering og udgør afslutningen på nedbrydningsprocessen (*Yamada-Onodera, 2001*).

Selvom nedbrydningsprocessen for de fleste plastiktper indledes med oxidation, er der også plastiktper der først reagerer med vand (hydrolyserer), hvis vandet er tilgængeligt i luften, i jorden, i vandløb eller i havet (*Summers & Rabinovitch, 1999*). Hvor polymerer, der kun har kulstof i polymerkæden ikke nedbrydes ved hydrolyse, kan polymerer der har kvælstof, ilt eller andre heteroatomer i polymerkæden godt nedbrydes på denne måde. Det gælder f.eks. for cellulose acetat (CA), polyethylen terephthalat (PET), og for mange bioplasttyper som f.eks. polymælkesyre (PLA). Disse plastiktper bruges i cigaretfiltere, til fibre og til emballage til føde og drikkevarer, fordi de anses for at være mere kemisk stabile end polymererne med ren kulstofkæde (*Gewert et al, 2015*).

Ved hydrolysen kløves polymerkæden i to stykker med henholdsvis en carboxylsyregruppe og en alkoholgruppe. Dette er den omvendte udgave af den reaktion som der bruges til at fremstille polymertypen. I modsætning til ved oxidation, påvirkes hydrolysereaktionen ikke af ultraviolet lys, men derimod af syre, base og enzymer, og processen foregår ikke kun på plastikoverfladen, da vand kan trænge ind i polymermassen. Da ferskvand og saltvand normalt er hverken surt eller basisk (pH 7,5 – 8,4), er der ingen stærke syrer eller baser tilstede, og hydrolysen foregår derfor meget langsomt. Hydrolyse af polymerer er en betydeligt langsommere nedbrydningsreaktion end oxidation.

Det er oplagt at nedbrydning af plastikaffald på jordoverfladen, nede i jorden, eller i vandet, er en multifaktoriel proces, med flere gensidigt afhængige faser, som gennemløber forskellige kemiske, fysiske og til slut biologiske reaktioner. Dette gør at nedbrydningsprocessen kan være meget langsom og kompleks, især for plastikaffald der er henkastet i et meget skyggefuldt område, eller direkte begravet i jorden, hvor adgangen til lys og ilt er meget begrænset, og der ikke findes de rigtige mikroorganismer. De forskellige antioxidant og stabilisatorer, tilsat for at beskytte polymererne og forlænge levetiden af produktet, vil forsinke nedbrydningen yderligere.

3. Hvor lang tid tager det for plastikaffald at bryde ned?

Selvom plastikprodukter har eksisteret siden 1950'erne, har vi stadig kun ringe viden om, hvor lang tid det tager at nedbryde plastik i naturen. En af udfordringer for at kunne vurdere troværdigheden af de mange informationskilder, og for at kunne sammenligne de foreslåede nedbrydningstider, er at begreberne nedbrydning, og nedbrydningsprocessens slutpunkt, ikke er veldefineret når det gælder plastik (*Thompson et al, 2004*).

Forskningen i nedbrydning af plastik i miljøet er et nyt forskningsområde, og antallet af projekter og publikationer er øget dramatisk siden opdagelsen af mikroplastik i 2004. På grund af den globale bekymring for havforurening, har fokus for det meste offentliggjorte forskning været på nedbrydning af plastik i havmiljøet, og nedbrydningsprocesser og hastigheder på landoverfladen, i jorden og i ferskvand er overvejende blevet ignoreret.

Der ses ofte betydelige forskelle mellem nedbrydningstider for plastik der er publiceret i fagfællebedømte forskningstidsskrifter, og de tider der publiceres i medierne. Det er også sjældent at medierne oplyser kilden til deres data, eller sandsynliggør deres pålidelighed.

Nedbrydningstider for plastikprodukter præsenteres ofte som velkendte, selvom de mangler videnskabelig baggrund. Den forventede nedbrydningstid for plastikposer er f.eks. både angivet til 10-20 år (*The Ocean Conservancy, 2003*) og til 500-1000 år (*Delaney, 2013*). Tilsvarende er den forventede levetid for vandflasker angivet til mellem 70 og 450 år, og til at vare "for evigt" (*Postconsumers, 2011*). Foruden manglen på veldefinerede endepunkter for nedbrydningen af plastik, gengiver medierne som regel ikke information om hvilke plastiktyper der er tale om, detaljer om miljøfaktorerne, og om metoderne der er brugt til at måle, estimere eller modellere de publicerede data.

Som eksemplerne herover viser, kan websider være tilgængelige mange år efter deres oprindelige publicering, uden at blive opdateret med nyere data. Et videnskabeligt studie fra 2019 konkluderer således at foto-oxidation af polystyren, helt til slutpunktet, finder sted i størrelsesordenen tiår til hundredevis af år, og ikke over tusindvis af år som antydtes af tidligere studier (*Ward et al, 2019*).

Der bruges to tilgange til at estimere nedbrydningstider for plastik i miljøet, og begge tilgange bygger på forventninger som begrænser deres gyldighed. Den første tilgang er at måle eller beregne den tid det tager for plastik at bryde ned når det udsættes for accelereret ældning, ved brug af enten høj temperatur, eller ved brug af høj intensitet af ultraviolet lys, i ugevis eller månedsvist. Nedbrydningstiderne herfra ekstrapoleres så, under miljømæssigt relevante betingelser, at være år eller århundreder ved brug af Arrhenius ligning (*Jachowicz & Sikora, 2006*). Denne metode, til at forudsige nedbrydningstider for plastik, har som forudsætning at nedbrydningsprocesserne vil være de samme under høj og normal temperatur. Dette er ikke tilfældet for mange plastikprodukter, herunder for PE og PP, hvad der antyder at oxidationsprocesserne kan foregå forskelligt ved forskellige temperaturer (*Celina et al, 2005*). Denne metode er også mindre brugbar til at estimere biologiske nedbrydningsprocesser, da enzymatiske processer oftest sker under biologisk relevante betingelser, og sjældent ved temperaturer højere end i miljøet eller i den menneskelige krop.

Den anden tilgang til at estimere plastiks nedbrydningstid i miljøet er at måle eller beregne nedbrydningen i kort tid ved miljømæssigt relevante betingelser, og så fremskrive disse data til materialet er helt nedbrudt efter år eller hundredvis af år. I lighed med den første tilgang, er denne tilgang baseret på en forventning om at nedbrydningsvejen og hastigheden vil være den samme gennem hele plastikkens levetid. Dette vil sjældent være tilfældet (*Narayan, 2017*). Efterhånden som stykker af makroplastik nedbrydes til mikroplastik og nanoplastik, er det forventeligt det relativt større overfladeareal vil fremme oxidation. Plastik der eksponeres for det danske vejr udsættes meget varierende intensiteter af UV-stråling, nedbør, og mekanisk slid fra vind og partikler i løbet af blot en enkelt 12 måneders periode.

4. Hvilke plastikaffaldstyper ses oftest bortkastet i Danmark, og hvor længe er de om at brydes ned?

Masseeksperimentet 2019 blev Danmarks og verdens allerførste nationale kortlægning af plastikforurening (*Syberg et al, 2020*). Formålet var at undersøge, hvor i Danmark der findes plastikaffald, og hvilke typer plast, affaldet består af. Cirka 57.000 børn og unge (6-19 år) samlede

374.082 plastikgenstande over en tre ugers periode i oktober 2019. Affaldet blev fundet og samlet på skovstier, parkområder, vejkanter langs marker, ved grøftekanter og åbredder, og på strande.

Top 10 over de kategorier af plastaffald der blev identificeret i Masseeksperimentet 2019, med hver deres primære plasttype (i parentes) og procent af antal stykker i alt, er følgende:

- **Cigaretskod (cellulose acetat) 29,9%**
- **Chips/slikindpakning (polypropylen og aluminium) 12,9%**
- **Bæreposer (polyethylen) 2,5%**
- **Plastikkapsler/låg til drikkevarer (polypropylen) 2,3 %**
- **Kaffekrus (ekspanderet polystyren, 'flamingo') 2,0%**
- **Sugerør (polypropylen) 1,7%**
- **Madbeholdere (polypropylen) 1,7%**
- **Vandflasker (polyethylen terephthalat) 1,5%**
- **Engangsbestik (polystyren) 1,0 %**
- **Balloner (naturgummi eller polyethylen terephthalat og aluminium) 0,6 %**

Den største del af det indsamlede plastik kan betegnes som engangsplastikprodukter, altså plastikprodukter som bruges en eller få gange og derefter kasseres. EU har besluttet at regulere de ti kategorier af engangsplastikprodukter, på engelsk 'Single Use Plastic' (SUP), der mest hyppigt findes på europæiske strande. Formålet er at formindske mængden af plastik der findes som affald i naturen og i det marine miljø (EU, 2019). I praksis betyder det, at udvalgte engangsplastikprodukter ikke længere kan markedsføres i EU fra d. 3 juli 2021. Det gælder blandt andet vatpinde, bestik, tallerkener, sugerør, rørepinde og ballonpinde, samt bægre, føde- og drikkevarer beholdere af ekspanderet polystyren. Derudover har Danmark vedtaget plastikhandlingsplanen fra 2018, der skal sikre mindre plastikforurening i naturen, ved anvendelse af forskellige virkemidler, udvidelse af pantsystemet samt informationskampagner (Miljø- og Fødevareministeriet, 2018).

Da *Masseeksperimentet 2019* var baseret på et betydeligt prøveantal, og blev udført over hele Danmark i alle typer af terrestrisk miljø, er resultaterne herfra brugt som basis for at udvælge de 10 plastikaffaldstyper til litteraturstudiet af nedbrydningstider i dette projekt. Da antallet af mundbind til engangsbrug der blev efterladt på gader, i skove og vandløb steg dramatisk i 2020 og 2021, på grund af Covid-19 pandemien, og sandsynligvis vil udgøre en betydelig kilde til plastikforurening fremover, er kategorien "Plastkapsler/låg til drikkevarer" fra *Masseeksperimentet 2019* erstattet med engagsmundbind.

For at gøre det muligt at sammenligne nedbrydning af plastik, i de 7 geografiske områder undersøgt i Masseeksperimentet 2019, med andre publicerede referencer, blev områderne samlet i kun to kategorier, der indeholder alle de nedbrydningsfaktorer der findes i Danmarks terrestriske miljø. *Strand og vej* beskriver de miljøer hvor plastikaffald er udsat for en høj iltkoncentration, meget sollys og vind, mens det plastikaffald der er henkastet i *Vandløb og søer* er i kontakt med vand og fysisk nedbrydes slid fra bølger, vind og partikler.

Bilag 2 er en oversigt over 49 litteraturkilder, både trykte og on-line, fra 1977 til 2020. Kilderne omfatter oversigtsartikler, originalforskning, datablade og infografikker, og er de kilder der kvantitativt beskrev nedbrydningstider, for de 10 mest udbredte plastikaffaldstyper, i miljøer der er sammenlignelige med miljøerne i *Strand og vej* og *Vandløb og søer*. Omtrent en tredjedel af publikationerne er fagfællebedømt, og er enten oversigtsartikler eller originalforskning. Kun få af de

publicerede infografikker, der viser levetider for plastikaffald, giver kilder til materialet, men de her medtagne er alle citeret mere end 100 gange og er ofte brugt som kilde i andre publikationer. De infografikker der angiver en kilde, henviser til USA's National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

I publikationerne med originalforskning er der enten anvendt accelereret ældning for at fremme nedbrydningen, og kunne ekstrapolere til virkelige miljøforhold, eller også er nedbrydningshastigheden af plastik blevet målt i relativt kort tid, under miljømæssigt relevante betingelser, og resultaterne er så ekstrapoleret til fuldstændig nedbrydning over årtier eller århundreder. Kun to studier har undersøgt nedbrydning af plastik over tid i virkelige miljøer (*Napper & Thompson, 2019 & Prince, 2019*). Denne tilgang kræver betydelige ressourcer, herunder adgang til de samme naturmiljøer over lang tid, og er derfor upraktiske at udføre i de fleste forskningsprojekter. Sluttilstanden, og de teknikker der anvendes til at måle nedbrydningen, varierer også mellem studierne, og omfatter fragmentering, ændringer i overfladeprofilen, tab af tilsætningsstoffer og kemiske forandringer i polymerkæderne.

De publicerede levetider for engangsartiklerne (SUPs) i de forskellige miljøer varierer meget. For eksempel er nedbrydningstiden for en kaffekop af ekspanderet polystyren i størrelsesordenen 30 til 1000 år, for en vandflaske fra 60 år til "for evigt", selvom de fleste kilder angiver 450 år, og for et cigaretskod er intervallet fra mindre end et år og til 20 år. Disse forskelle kan skyldes forskelle på hvordan nedbrydningstiden er defineret, hvilke metoder der er anvendt til at måle nedbrydningen, og i hvilket miljø nedbrydningen har fundet sted. Cigaretskod indeholder cellulose acetat, der primært nedbrydes ved hydrolyse, og det vil derfor nedbryde hurtigere ved høj luftfugtighed eller i vand, end på et solbeskinnet tørt fortov.

Meget få publikationer definerer kvantitativt begrebet plastikkens 'nedbrydningstider' eller 'levetid' eller 'tid til at forsvinde', og derfor har vi anvendt nedbrydningstid som det gennemsnitlige antal år som plastprodukter tager at nedbrydes til stykker mindre end 5mm (mikroplast). Nedbrydningstider for hver af de 10 plastaffaldstyper, baseret på denne definition, for nedbrydning til mikroplastik i henholdsvis miljøet *Strand og vej*, og *Vandløb og søer*, er opsummeret i figur 2 og 3. Disse tabeller og infografikker kan også findes i bilag 1. Et datablad for hver af de 10 plastikaffaldstyper, der opsummerer materialesammensætningen, fremstillingsmåden, nedbrydningsveje og tider findes i bilag 3

Plastikaffald	SUP G nr.	Plastik type	Nedbrydningstider til mikroplastik på Strand & Vej pga. nedbrydning fra ilt, sollys og vind (år)
Cigaretskod	G27	Cellulose acetat (CA)	10
Chips/slikindpakning	G30	Polypropylen (PP) + aluminium	80
Sugerør	G35	Polypropylen (PP)	200
Bæreposer	G3 & G4	Polyethylen (PE) enten HDPE eller LDPE	1 – 50
Madbeholder	G10	Salatboks - Polypropylen (PP)	30 – 50
Vandflasker	G7 & G8	Vandflaske - Polyethylen terephthalat (PET)	500
Kaffekrus og låg	G33	Kaffekrus - Ekspanderet polystyren, 'flamingo' (EPS)	50
		Låg - polystyren (PS (låg)	30
Engangsbestik	G34	Polystyren (PS)	50
Gummiballon	G125	Naturgummi (NR)	10
Metalliseret ballon		Polyethylen terephthalat (PET) + aluminium	> 500
Engangsmundbind		Polypropylen (PP)	50

Figur 2: Nedbrydningstid: Hvor lang tid tager det for plastik at nedbryde til mikroplastik på strand og vej, pga. nedbrydning fra ilt, sollys og vind? Data er baseret på publiceret referencer der beskriver nedbrydningstider af plastikaffald og findes i bilag 2

Plastikaffald	SUP G nr.	Plastik type	Nedbrydningstider til mikroplastik på Vandløb & Søer pga. nedbrydning fra vind, sand og bølger (år)
Cigaretskod	G27	Cellulose acetat (CA)	< 1
Chips/slikindpakning	G30	Polypropylen (PP) + aluminium	200
Sugerør	G35	Polypropylen (PP)	200 – 500
Bæreposer	G3 & G4	Polyethylen (PE) enten HDPE eller LDPE	10 – 20
Madbeholder	G10	Salatboks - Polypropylen (PP)	70 – 100
Vandflasker	G7 & G8	Vandflaske - Polyethylen terephthalat (PET)	100 – 1000
Kaffekrus og låg	G33	Kaffekrus - Ekspanderet polystyren, 'flamingo' (EPS) Låg - polystyren (PS (låg))	30 – 500
Engangsbestik	G34	Polystyren (PS)	100 – 1000
Gummiballon	G125	Naturgummi (NR)	50
Metalliseret ballon		Polyethylen terephthalat (PET) + aluminium	> 1000
Engangsmundbind		Polypropylen (PP)	80 år

Figur 3: Nedbrydningstid: Hvor lang tid tager det for plastik at nedbrydes til mikroplastik i vandløb og søer, pga. nedbrydning fra vind, sand og bølger? Data er baseret på publiceret referencer der beskriver nedbrydningstider af plastikaffald og findes i bilag 2.

5. Konklusion

Formålet med projektet er at opnå et opdateret videns- og datagrundlag om nedbrydningstider for de typer af plastikaffald, som hyppigst ender i naturen i Danmark. Dette er opnået ved at bruge de 10 plastikaffaldstyper der, i følge en national undersøgelse udført i 2019, findes mest af i naturen, hvilke slags plastik de består af, og baseret på en gennemgang af både den trykte og den on-line baserede litteratur, at identificere plastiktypernes nedbrydningsveje og tider.

Selvom antallet af publicerede studier af plastikforurening er vokset betydeligt siden årtusindskiftet, har disse studier mest været fokuseret på havforurening, og ikke så meget på forurening i landmiljøet. Definitionen af levetid, eller endepunktet for nedbrydningen, er som oftest ikke beskrevet i studierne, men de fleste studier anvender nedbrydning til mikroplastik som definition, da det er de mindste partikler der er metoder til at måle pålideligt.

De betydelige forskelle, der ses i de estimerede nedbrydningstider, for sammenlignelige plastikprodukter, kan forklares med både de metoder der er anvendt, og det miljø nedbrydningen er foregået i. Resultater der er publiceret siden år 2000 viser to tydelige tendenser, i forhold til

tidligere data. For det første, at de estimerede nedbrydningstider for plastik i naturmiljøerne er faldet, fra tidligere at være tusinder af år til nu at være hundreder af år. Dette passer med den kendte viden, at plastik har været kommercielt tilgængeligt i omkring 70 år, og at mikroplastik først blev defineret i 2004. For det andet at bionedbrydning er den mindst betydningsfulde nedbrydningsvej for plastik i landmiljøet, og først får betydning når den fysisk/kemiske nedbrydning har reduceret makroplastik til mikro- og nano-plastik.

6.Referencer

Andrady, A.L. 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1596–1605

Celina, M., Gillen, K. T., Assink, R. A. 2005. Accelerated Aging and Lifetime Prediction: Review of Non-Arrhenius Behaviour Due to Two Competing Processes. *Polymer Degradation and Stability*, 90,3, 395–404

Delaney, P. 2013. How Long It Takes for Some Everyday Items to Decompose. *Down2Earth Materials*, 2013. <https://www.down2earthmaterials.ie/2013/02/14/decompose/> - Aktiv oktober 2021

EU.2019. Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_21_2709 - Aktiv september 2021

Gewert, B., Plassmanna, M.M., MacLeod, M. 2015. Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment, *Environmental Science Processes & Impacts*, 17, 1513–1521

Gijsman, P., Meijers, G., Vitarelli, G.1999. *Polymer Degradation and Stability*, 65, 433–441

Jachowicz, T., Sikora, R.2006. Methods of forecasting of the changes of polymeric products properties, *Polimery*, 51, 177–185

Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Ngouajio, M., Thomas Fernandez, R.2006. Development of an Automatic Laboratory-Scale Respirometric System to Measure Polymer Biodegradability. *Polymer Testing*, 25 (8), 1006– 1016, doi: 10.1016/j.polymertesting.2006.06.008

Kyrikou, I., Briassoulis, D. 2007. Biodegradation of Agricultural Plastic Films: A Critical Review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15, (2), 125-150

Miljø- og Fødevareministeriet. 2018. Plastik uden spild- Regeringens plastikhandlingsplan ISBN tryk: 978-87-93635-90-6

Napper, I., Thompson, R. 2019. Environmental Deterioration of Biodegradable, Oxo-biodegradable, Compostable, and Conventional Plastic Carrier Bags in the Sea, Soil, and Open-Air Over a 3-Year Period, *Environmental Science and Technology*, 53, 9, 4775–4783

Narayan, R. 2017. Biodegradable and Biobased Plastics: An Overview. In *Soil Degradable Bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture*, ed: Malinconico, M., Green Chemistry and Sustainable Technology; Springer: Berlin, Heidelberg, 23–34. doi: 10.1007/978-3-662-54130-2_2

Plastics Europe. 2020. https://www.plasticseurope.org/application/files/8016/1125/2189/AF_Plastics_the_facts-WEB-2020-ING_FINAL.pdf -Aktiv oktober 2021

Postconsumers.com. 2011. How Long Does It Take a Plastic Bottle to Biodegrade?
<https://www.postconsumers.com/2011/10/31/how-long-does-it-take-a-plastic-bottle-to-biodegrade/>
-Aktiv oktober 2021

Prince,E. 2019. Buried crisp packet from 20 years ago, sheds light on rate everyday items decompose, Eastern Daily News, <https://www.edp24.co.uk/news/crisp-packet-from-20-years-ago-shows-rate-everyday-items-1384380> -Aktiv oktober 2021

Rodrigues, M. O.,Abrantes, N., Gonçalves, F. J. M., Nogueira, H., Marques, J. C., Gonçalves, A. M. M. 2019. Impacts of Plastic Products Used in Daily Life on the Environment and Human Health: What Is Known? *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 103239, doi:10.1016/j.etap.2019.103239

Shah, A., Hasan, F., Hameed, A., Ahmed, S. 2008. *Biotechnology Advances*, 26, 246–265

Singh, B., Sharma, N.2008. Mechanistic implications of plastic degradation. *Polymer Degradation and Stability*. 93, 3, 561-584

Starnecker, A., Menner, M. 1996. Assessment of Biodegradability of Plastics under Simulated Composting Conditions in a Laboratory Test System. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 37 (1), 85– 92, doi: 10.1016/0964-8305(95)00089-5

Summers, W., Rabinovitch, E.W. 1999. *Weathering of Plastics*, Elsevier, 61–68

Syberg, K. Palmqvist, A.,Khan, F., Vollertsen, J., Clausen, L.P., Feld, L.,Hartmann, N., Oturai, N.,Møller, S., Nielsen, T.G., Shashoua, Y., Hansen, S.F. 2020. A nationwide assessment of plastic pollution in the Danish realm using citizen science, *Scientific Reports*, 10, 17773. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74768-5> -Aktiv oktober 2021

The Ocean Conservancy. 2003. *Pocket Guide to Marine Debris*.
<https://www.mass.gov/files/documents/2016/08/pq/pocket-guide2003.pdf> – Aktiv oktober 2021

Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G.,McGonigle, D.,Russell, A. E.2004. Lost at sea: Where is all the plastic? *Science*, 304, 838-838

Ward, C. P., Armstrong, C. J.,Walsh, A. N.,Jackson, J. H., Reddy, C. M.2019. Sunlight Converts Polystyrene to Carbon Dioxide and Dissolved Organic Carbon. *Environmental Science & Technology Letters*, 6, 669

Yamada-Onodera, K., Mukumoto, H., Katsuyaya, Y., Saiganji, A.,Tani, Y. 2001. Degradation of polyethylene by a fungus, *Penicillium simplicissimum* YK. *Polymer Degradation and Stability*, 72, 323–327

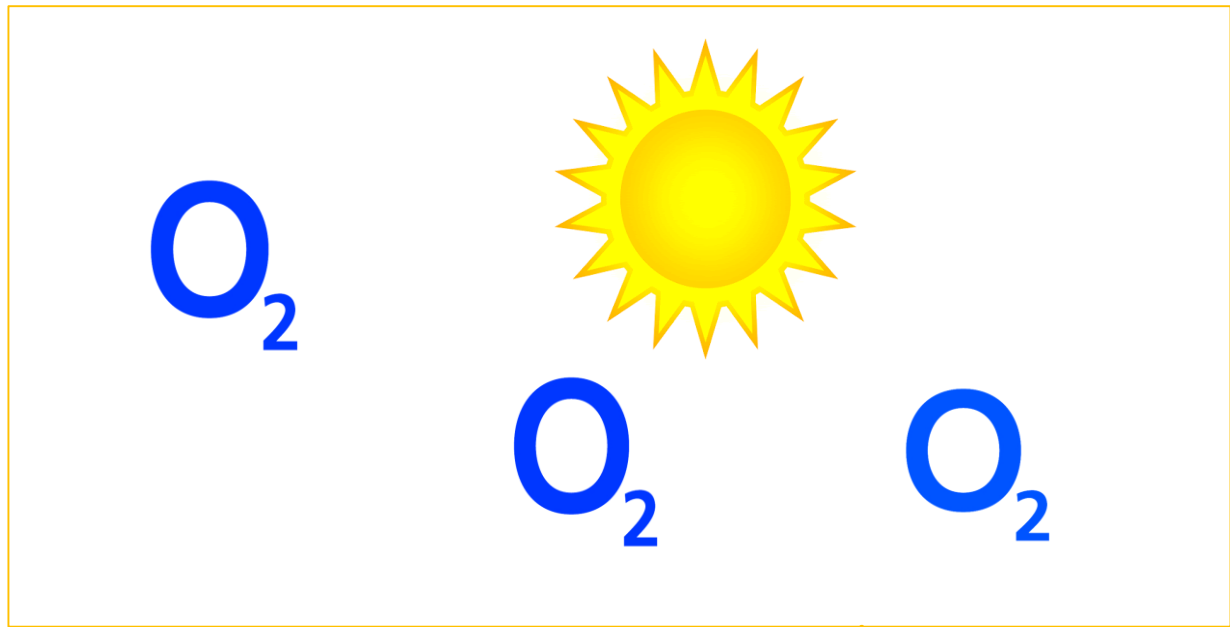
Zheng, Y.,Yanful, E.K., Bassi, A.S. 2005. A review of plastic waste biodegradation. *Critical Reviews in Biotechnology*, 25, 243–250

Noter til tabeller og infografikker over nedbrydningstider for de typisk forekomne plastikaffaldstyper i Danmark

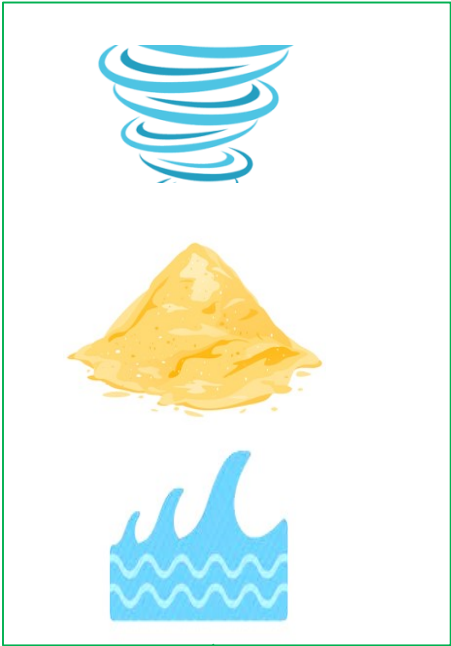
- udvalg af de typiske forekomne affaldstyper i Danmark er baseret på Masseksperimentet 2019 (<https://naturvidenskabsfestival.dk/file/mx2019resultatrapportpdf>)
- plastiktyper i de typiske affaldstyper i Danmark er baseret på publikationer om Masseksperimentet 2019 bl.a. (Syberg, K. et al. A nationwide assessment of plastic pollution in the Danish realm using citizen science. 2020. Scientific Reports, 10, 17773. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74768-5>)
- de forskellige danske miljøer affaldet ender i omfatter Strand & Vej (*ilt, sollys og vind*) og Vandløb & Søer (*vand, vind, sand og bølger*). Nedbrydningstider i disse miljøer er baseret på databasen over litteratur der beskriver nedbrydningstider af plastik (bilag 2). Meget få publikationer definerer kvantitativt begrebet plastiks 'nedbrydningstider' eller 'levetid' eller 'tid til at forsvinde', og derfor har vi anvendt nedbrydningstid som antallet år som plastikprodukter tager at nedbryder til mikroplastik.

Faktorer der påvirker nedbrydningen af plastik i den danske natur

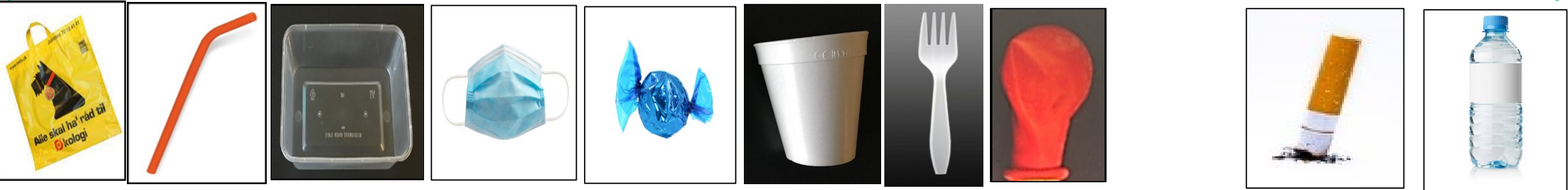
foto-oxidation
(strand, vej, sti, vandoverflade)



mekanisk
(alle miljøer)



hydrolyse
(vandløb, søer, fugtig jord)



PE

PP

PP

PP

PP/metal

EPS

PS

Naturgummi

CA

PET

Nedbrydningstid: Hvor lang tid tager det for plastik at nedbryde til mikroplastik på strand og vej, pga. ilt, sollys og vind?

Plastikaffald	SUP G nr.	Plastik type	Nedbrydningstider til mikroplastik på Strand & Vej pga. nedbrydning fra ilt, sollys og vind (år)
Cigaretskod	G27	Cellulose acetat (CA)	10
Chips/slikindpakning	G30	Polypropylen (PP) + aluminium	80
Sugerør	G35	Polypropylen (PP)	200
Bæreposer	G3 & G4	Polyethylen (PE) enten HDPE eller LDPE	1 – 50
Madbeholder	G10	Salatboks - Polypropylen (PP)	30 – 50
Vandflasker	G7 & G8	Vandflaske - Polyethylen terephthalat (PET)	500
Kaffekrus og låg	G33	Kaffekrus - Ekspanderet polystyren, ‘flamingo’ (EPS)	50
		Låg - polystyren (PS (låg))	30
Engangsbestik	G34	Polystyren (PS)	50
Gummiballon	G125	Naturgummi (NR)	10
Metalliseret ballon		Polyethylen terephthalat (PET) + aluminium	> 500
Engangsmundbind		Polypropylen (PP)	50

Nedbrydningstid: Hvor lang tid tager det for plastik at nedbryde til mikroplastik på strand og vej, pga. ilt, sollys og vind?

1år

10 år

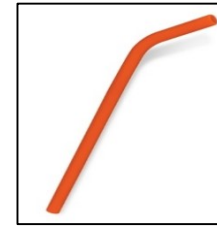
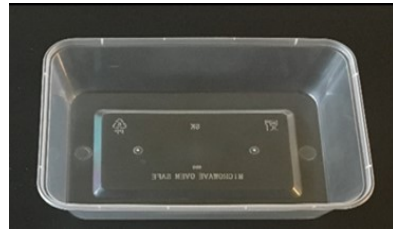
50 år

100 år

200 år

500 år

>1000 år



Nedbrydningstid: Hvor lang tid tager det for plastik at nedbryde til mikroplastik i vandløb og søer, pga. vand, vind, sand og bølger?

Plastikaffald	SUP G nr.	Plastik type	Nedbrydningstider til mikroplastik på Vandløb & Søer pga. nedbrydning fra vind, sand og bølger (år)
Cigaretskod	G27	Cellulose acetat (CA)	< 1
Chips/slikindpakning	G30	Polypropylen (PP) + aluminium	200
Sugerør	G35	Polypropylen (PP)	200 – 500
Bæreposer	G3 & G4	Polyethylen (PE) enten HDPE eller LDPE	10 – 20
Madbeholder	G10	Salatboks - Polypropylen (PP)	70 – 100
Vandflasker	G7 & G8	Vandflaske - Polyethylen terephthalat (PET)	100 – 1000
Kaffekrus og låg	G33	Kaffekrus - Ekspanderet polystyren, ‘flamingo’ (EPS) Låg - polystyren (PS (låg))	30 – 500
Engangsbestik	G34	Polystyren (PS)	100 – 1000
Gummiballon	G125	Naturgummi (NR)	50
Metalliseret ballon		Polyethylen terephthalat (PET) + aluminium	> 1000
Engangsmundbind		Polypropylen (PP)	80 år

Nedbrydningstid: Hvor lang tid tager det for plastik at nedbryde til mikroplastik i vandløb og søer, pga. vand, vind, sand og bølger?

1år

10 år

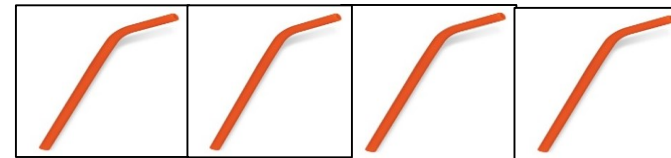
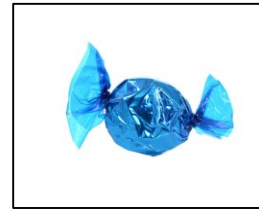
50 år

100 år

200 år

300 år

>1000 år



Bilag 2

[illegible]

Bilag 3

Datablade: med 10 eksempler på nedbrydningsveje til mikroplastik for forskellige hyppigst fundne plastikaffaldstyper

Plastikaffaldstyperne er udvalgt baseret på resultaterne fra den nationale undersøgelse Masseeksperimentet 2019, der indsamlede plastikaffald i de danske naturtyper (*Syberg et al, 2020*). Den nyeste viden om plastiks nedbrydning er indhentet ved en litteratursøgning af trykte og on-line publikationer fra 1977 og til 2020, herunder oversigtsartikler, originalforskning, datatabeller og infografikker. De udvalgte publikationer beskriver nedbrydning for de 10 mest udbredte plastikaffaldstyper i miljøer der meste ligner dem der er tilstede i den danske natur, hvor affaldet er blevet udsat for høje koncentrationer af enten ilt, sollys, vind og vand, eller for mekanisk nedbrydning ved kontakt med vand, vind og partikler

1:Cigaretskod

2:Slik- chipsindpakning

3:Sugerør

4:Bæreposer

5:Madbeholder

6:Vandflasker

7:Kaffekrus

8:Engangsbestik

9:Gummiballon

10:Mundbind (engangs)

Yvonne Shashoua* & Anders Bendtz Kanstrup

Miljøarkæologi og Materialeforskning

Nationalmuseet

*telefon +45 41206481

*email yvonne.shashoua@natmus.dk

d. 16 november 2021

Datablade om plastikaffaldstyper

1: Cigaretskod



Cigaretskod består af fibre af celluloseacetat, hylsteret af papir og den ubrændte tobaksrest (til venstre). Nyligt henkastet cigaretskod (i midten) og efter 6 måneder på skovbunden (til højre). (Fotos: Yvonne Shashoua og <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cigarettefilter.jpg>)

Cigaretskod er brugte cigaretfilter. De består af selve filteret, der er fremstillet af små fibre af cellulose acetat (CA), og af papirhylsteret udenom. I filteret findes nikotin, tjærestoffer og andre stoffer der dannes når tobakken brænder under rygningen (Bradford, 2011).

Cigaretskod udgjorde den største andel af det plastikaffald, som blev indsamlet tværs over Danmark under Masseeksperimentet i oktober 2019. De 112.018 cigaretskod, der blev registreret, svarer i antal til 30% af alt indsamlet plastaffald under kampagnen (Syberg et al, 2020).

Materialeegenskaber for CA i cigaretskod

CA var et af de første plastmaterialer, det har været kendt siden 1916. CA er en semisyntetisk plastik, der fremstilles ved at behandle cellulose, i form af træslib eller bomuld, med en blanding af stærk eddikesyre og svovlsyre (Stannett, 1951). Desuden tilsættes blødgørere og flammehæmmende stoffer. CA har god slagstyrke med lille kærvfølsomhed, og er transparent med en lysgennemgang på ca. 88%. Det er en termoplast med smeltepunkt på 300°C og fibre kan modstå 60°C uden at miste styrke (Fischer et al, 2008). Siden 1930'erne er CA blevet anvendt til brillestel, hårkamme, coatning til spillekort, tekstiler og til cigaretfilter (Nyborg, 1993). Fordi CA er ikke brændbart blev det også anvendt til fremstilling af fotofilm, gennemsigtige folier og til legoklodser (indtil 1969).

Nedbrydning af cigaretskod i den danske natur

CA er en bioplastik fordi den er fremstillet af cellulose dvs papir, men hvor papir er et naturmateriale og derfor bionedbrydelig er plastikken ikke. CA reagerer kemisk hurtigt med vand

(hydrolyse), danner eddikesyre og opdeler i mindre stykker (fragmenterer) til cellulose fibre og videre til microfibre mindre end 5mm lang (*Puls, 2011*). Hydrolytisk nedbrydning foregår meget hurtigere i en surt, fugtigt miljø, især hvor pH er lavere end 4, end f.eks. på en solrig og tør strand. Den dannede eddikesyre katalyserer hydrolysen, dvs. hydrolysen er selvkatalyserende (*Shashoua et al, 2014*). Nedbrydningsreaktionen kører langsommere ved lavere temperatur i luft og vand.

Nedbrydningstider til microfibre (mindre end 5mm lang) for cigaretskod i den danske natur (Se Bilag 2 for litteraturkilder)

- På strand & vej (udsat for høje koncentrationer af ilt, sollys, vind og vand)
10 år
- I vandløb & søer (udsat for vand, vind og slitage fra bl.a. sand og bølger)
<1 år

Referencer

Fischer, S., Thümmel, K., Volkert, B., Hettrich, K., Schmidt, I., Fischer, K. 2008. Properties and Applications of Cellulose Acetate, Macromolecular Symposia, 262: 89-96. doi: 10.1002 / masy.200850210

Harris, Bradford .2011. The intractable cigarette 'filter problem'.
https://tobaccocontrol.bmj.com/content/20/Suppl_1/i10. doi:10.1136/tc.2010.040113

Nyborg, P.1993. Design med plast. Dansk Design Center

Puls, J., Wilson, S.A. Höltel, D. 2011. Degradation of Cellulose Acetate-Based Materials: A Review. J Polym Environ 19, 152–165 doi:10.1007/s10924-010-0258-0 - Aktiv september 2021

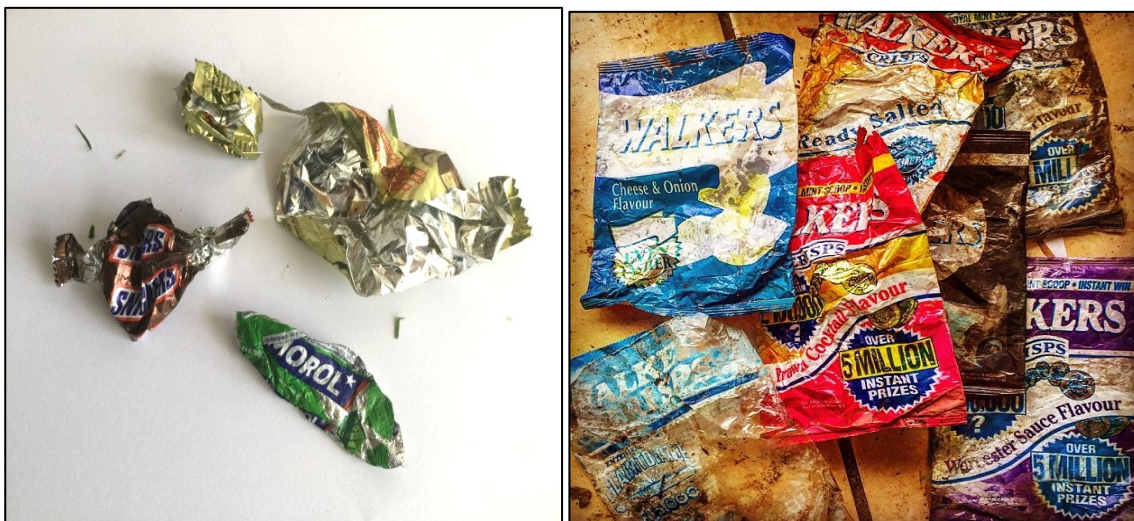
Shashoua, Y., Schilling, M., Mazurek, J. 2014. The effectiveness of conservation adsorbents at inhibiting degradation of cellulose acetate. In ICOM-CC 17th Triennial Conference Preprints, Melbourne, 15–19 September 2014, ed. J. Bridgland, art. 1010, 9 pp. Paris: International Council of Museums. ISBN 978-92-9012-410-8

Stannett, V.1951. 1951. Cellulose acetate plastics. New York, Chemical Publishing Co.

Syberg, K. Palmqvist, A., Khan, F., Vollertsen, J., Clausen, L.P., Feld, L., Hartmann, N., Oturai, N., Møller, S., Nielsen, T.G., Shashoua, Y., Hansen, S.F., 2020. A nationwide assessment of plastic pollution in the Danish realm using citizen science, Scientific Reports, 10, 17773.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-74768-5>

Datablade om plastikaffaldstyper

2: Slik- og chipsindpakning



Indpakning til slik og chokolade (venstre), og til chips (højre), er fremstillet af polypropylen plastik, der får en særlig behandling for at øge fleksibiliteten og egenskaberne til at modstå fedt, vand og luft. Bagefter får plastikken en tynd coatning aluminium for at give den høje glans. Desværre er blandingen af metal og plastik meget langsomme til at nedbryde i naturen. Chipspakken til højre har været i vejkanthen i 33 år, og viser meget få tegn af nedbrydning (Foto: Yvonne Shashoua og fra Walters, 2016)

Slik- og chipsindpakninger laves fortrinsvis polypropylen (PP), der fremstilles af propylen gas fra råolie, eller fra biobaserede kilder (Gilbert, 2016). PPs gode barriereegenskaber gør det ideelt til fremstilling af indpakning til fødevarer, der skal opbevares uafkølet i en hermetisk tæt indpakning. Da PP er vanskeligt at varmesforsegle, og er let uklart, fremstilles det på en særlig "biaxial orientering" metode (BOPP), til indpakning af slik, chips, kaffe, chokolade og snacks.

Materialeegenskaber for BOPP indpakning

Biaxialt orienteret polypropylen film (BOPP) fremstilles ved at opvarme en plade af tyk ekstruderet PP, tilsat antioxidant der blødgør filmen, mens den mekanisk strækkes 300 – 400% i to retninger. Herved dannes en højglans klar film på omkring 0,03 millimeters tykkelse (Karian, 1999). Sammenlignet med alm. PP giver denne behandlingen forbedret sejhed, stivhed og gennemsigkelighed, gør at filmen bedre tåler fedt og olie, og forbedrer dens barriereegenskaber over for vanddamp og ilt. Ved at laminere BOPP-filmen med op til 5 lag af nylon eller polyethylen opnås, at temperaturen, hvor filmen kan varmesforsegles, sænkes fra 166° C til 132°C.

BOPP film bliver også metalliseret, lamineret med et tyndt metallag af f.eks. aluminium, for at give et mere tiltrækkende udseende på slik- og chipspakker. Metallet opvarmes og fordampes under vakuum, og danner en meget tynd belægning, på ca. 0,0005mm, ved kontakt med den kolde plastikoverflade. Denne belægning kan også farves og forsynes med tryk, og metallaget bleges eller misfarves ikke over tid (Maier & Calafut, 1998).

Metalliseret BOPP tåler vand, organiske opløsningsmidler, syre og base og er derfor meget velegnet til brug i emballageindustrien, hvor varetransport og opbevaring under meget forskellige forhold ikke kan undgås (*Robertson, 2008*).

Nedbrydning af BOPP indpakning i den danske natur

Almindelig PP reagerer kemisk med luftens ilt (oxidation), mister sin styrke, bliver blødt og fragmenterer. Nedbrydningsprocessen kører mærkbart hurtigere i sollys, f.eks. på strand, fortov og vej, end i skygge (*Gahleitner & Paulik, 2014*). Metalliseret BOPP derimod nedbrydes næsten ikke, da metallaget beskytter plastikken mod ilt og sollys, og mod mekanisk slid. Der er kun publiceret meget lidt viden om nedbrydning af BOPP i miljøet. I USA fandt man en chipspose i vejkanthen, der var over 30 år gammel, og i UK i et skovområde fandt man også en chipspose, denne var over 20 år gammel. Alderen blev bestemt baseret på den påtrykte "bedst før" dato. De udviste ingen tegn på blegning eller anden nedbrydning (*Prince, 2019 & Walters, 2016*).

Nedbrydningstider til mikroplast for BOPP indpakning i den danske natur (Se Bilag 2 for litteraturkilder)

- På strand & vej (udsat for høje koncentrationer af ilt, sollys, vind og vand)
80 år
- I vandløb & søer (udsat for vand, vind og slitage fra bl.a. sand og bølger)
>200 år

Referencer

Gahleitner, M. & Paulik .(2014). Polypropylene in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Weinheim: Wiley-VCH. pp. 1–44. doi:10.1002/14356007.o21_o04.pub2 – Aktiv september 2021

Gilbert, M. 2016. Brydson's Plastics Materials. 8th edition. Butterworth-Heinemann ISBN: 9780323358248

Karian, H. G. 1999. Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites. Marcel Dekker, New York

Maier, C. & Teresa, C. 1998. Polypropylene -The Definitive User's Guide and Databook A volume in Plastics Design Library. William Andrew. ISBN:9781884207587

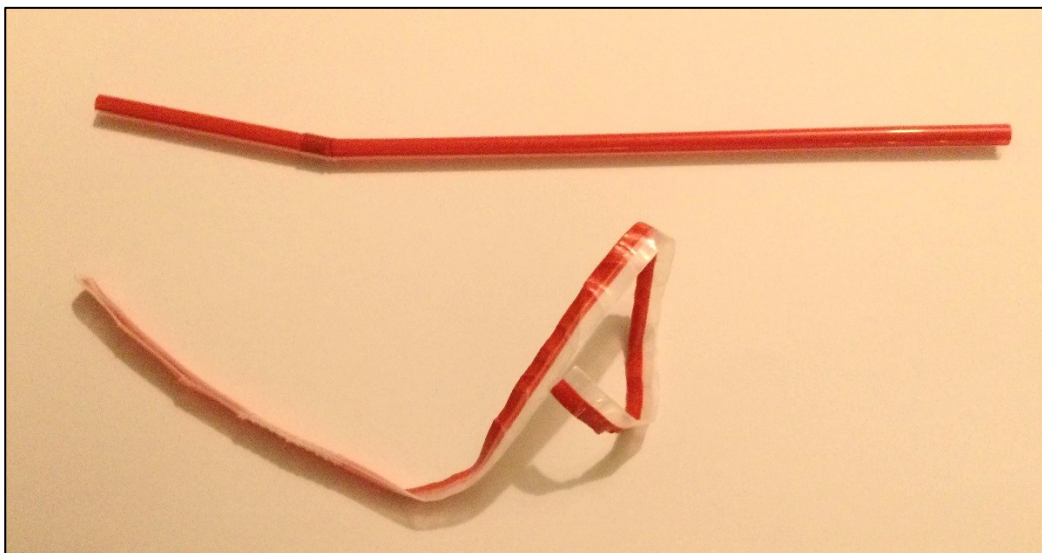
Prince, E. 2019. Buried crisp packet from 20 years ago, sheds light on rate everyday items decompose, Eastern Daily Press, April 22, 2019 <https://www.edp24.co.uk/news/crisp-packet-from-20-years-ago-shows-rate-everyday-items-1384380> -Aktiv september 2021

Robertsen, G.2008. Food packaging, principles and practices, Packaging Technology and Science 21(1):57-59. DOI: 10.1002/pts.777 -Aktiv September 2021

Walters, G. 2016. As crisp packets are found in the countryside looking nearly new after 33 years... How long does litter take to rot? The Daily Mail 16 May 2016 <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3593792/How-long-does-litter-rot.html> - Aktiv september 2021

Datablade om plastikaffaldstyper

3: Sugerør



Sugerør fremstillet af polypropylen. Nyt (øverst) og efter 6 måneder i det danske forår/sommer vejr. Vinden har slebet og deformeret sugerøret. (Foto: Yvonne Shashoua)

Otto W. Dieffenbach (Sr.) in Baltimore, USA, udviklede og fremstillede det første plastiksugerør i 1930 af Cellofan, en polymer baseret på cellulose. Sugerørene blev først solgt til restauranter, men blev meget populære efter anden verdenskrig, hvor de masseproducerede plastikrør begyndte at udkonkurrere sugerør fremstillet af voksbehandlet papir. Siden 1970'erne er sugerør næsten udelukkende blevet fremstillet af polypropylen. I dag ligger antallet af solgte sugerør i EU på omkring 25,3 milliarder årligt.

Polypropylen (PP) blev udviklet i 1950'erne, og har mange egenskaber der gør dem ideelle til sugerørsfremstilling. Polypropylen (PP) fremstilles af propylen gas fra råolie eller fra biobaserede kilder (Gilbert, 2016). Til fremstilling af sugerør tilsættes polymeren blødgørere, der øger fleksibiliteten og beskytter mod revnedannelse; antioxidant, der beskytter mod oxidation af luftens ilt; UV-absorbanter, der beskytter mod sollys; og fyld- og farvestoffer til at øge klarheden og vægtfylden af rørene. Alle disse tilsætningsstoffer skal være godkendt til kontakt med føde- og drikkevarer (Malpass & Band, 2012). Til sidst smeltes og ekstruderes polymeren gennem et rør eller en form, afkøles og skæres i den rette længde (You Tube, 2012).

Fordi PP-sugerør er til engangsbrug, men er meget holdbare i miljøet, bidrager de betydeligt til plastikforureningen af Danmarks land- og marine miljø. EU's engangsplastikdirektiv trådte i kraft i juni 2019. Det har til formål at mindske mængden af engangsplast, der ender som affald i naturen, og i det marine miljø (EU, 2019). I praksis betyder det at udvalgte engangsplast-produkter bl.a. plastiksugerør ikke længere kan markedsføres i EU efter d. 3 juli 2021.

Materialeegenskaber for PP sugerør

Polypropylen er den næstmest producerede plastiktype efter polyethylen (PE). Den kommercielle produktion begyndte i 1957, og i 2019 var den årlige globale markedsværdi på omkring 800 milliarder danske kroner (*Global Polypropylene Market Report, 2020*). PP er termoplastisk, det betyder at plastikken bliver blød ved opvarmning og kan formes, men bliver fast igen efter nedkøling. På grund af sin delvis krystallinske struktur, hvor 30-60% af molekylekæderne er ordnet i tredimensionale gitter, fremstår PP som et uklart, let, sejt, fleksibelt materiale. PP tåler varme godt og smelter først ved 130 – 170°C. Omvendt bliver PP meget skørt ved temperaturer lavere end temperaturen i en almindelig husholdningsfryser (-20°).

Polypropylen bruges foruden engangssugerør også til mange typer mademballage, som f.eks. margarine- og yoghurtbeholdere, cellofan-lignende film, og forskellige typer flasker og kapsler (*Gahleitner & Paulik, 2014*).

Nedbrydning af PP sugerør i den danske natur

PP reagerer kemisk med luftens ilt (oxidation), mister sin styrke, bliver blødt og fragmenterer. Nedbrydningsprocessen kører mærkbart hurtigere i sollys, f.eks. på strand, fortov og vej, end i områder hvor lysets intensitet er mindre f.eks. i skygge (*Pedersen, 1999*). Tynde sugerør nedbryder hurtigt fordi de har et stort overfladeareal, hvor oxidation kan finde sted. Gennemsigtige sugerør nedbryder hurtigere end de farvede, fordi farvestoffer blokerer for sollys og derfor beskytter plasten. Graden af krystalinitet er også en parameter, der er af væsentlig betydning for nedbrydningshastigheden af PP, da plastik med høj grad af krystalinitet resulterer i en langsommere diffusion af ilt ind i materialet. Ved nedbrydning af polymerkæderne (*Pedersen, 1999*) dannes der carbonylgrupper, der giver nedbrudt PP en gullig farve.

PP-sugerør anses ikke for at være bionedbrydelige.

Nedbrydningstider til mikroplastik for PP sugerør i den danske natur (Se Bilag 2 for litteraturkilder)

- På strand & vej (udsat for høje koncentrationer af ilt, sollys, vind og vand) 200 år
- I vandløb & søer (udsat for vand, vind og slitage fra bl.a. sand og bølger) 200-500 år

Referencer

EU.2019. Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment.
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_21_2709 - Aktiv september 2021

Gahleitner, M. & Paulik, C.2014. Polypropylene in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim: Wiley-VCH. pp. 1–44. doi:10.1002/14356007.o21_o04.pub2 – Aktiv september 2021

Gilbert, M. 2016. *Brydson's Plastics Materials*. 8th edition. Butterworth-Heinemann ISBN: 9780323358248

Global Polypropylene Market Report. 2020. Rising Demand for Thermoplastic Materials.
finance.yahoo.com. – Aktiv September 2021

Malpass, D.B. & Band, E.I. 2012. Introduction to Industrial Polypropylene, Wiley. doi:10.1002/9781118463215. ISBN 9781118463215

Pedersen, L.B. Plast og Miljø. 1999. Teknisk Forlag A/S. ISBN 8757121974

Rude, E. 2018. The Backlash Against Plastic Straws Is Spreading. Here's How They Got So Popular in the First Place. Time <https://time.com/5336242/plastic-straws-history/> - Aktiv september 2021

Syberg, K. et al. 2020. A nationwide assessment of plastic pollution in the Danish realm using citizen science. Scientific Reports, 10, 17773. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74768-5> - Aktiv september 2021

You Tube. 2012. Drinking Straw Extrusion Line. <https://www.youtube.com/watch?v=-MFD4RQ1aek> – Aktiv september 2021

Datablade om plastikaffaldstyper

4: Bæreposer



Danske bæreposer fremstillet af Low Density Polyethylen. Ny (til venstre) og efter 12 måneder i sollys (til højre). (Foto: Yvonne Shashoua)

Danske bæreposer er hovedsagligt lavet af Low Density Polyethylen (LDPE), der fremstilles af ethylen gas fra råolie eller fra biobaserede kilder. I mange andre lande, bl.a. Frankrig og England, findes plastikbæreposer også i tynde udgaver. De tynde HDPE poser er lavet af High Density Polyethylen (HDPE). Disse poser går lettere i stykker og er mindre egnede til genbrug. Der bruges i dag omtrent 9.000 tons plastik til bæreposer i Danmark. Det svarer til ca. 1,5 pct. af det samlede plastikforbrug i Danmark (*Plastindustrien-a, 2021*).

Bionedbrydelige bæreposer fremstilles af plastik fra råolie eller af bioplastik, f.eks. Polymælkesyre (PolyLactic Acid, PLA). Bioplastik er plastikmaterialer baseret på plantedele som f.eks. majsstivelse, korn eller sukkerrør men bioplastik er ikke nødvendigvis bionedbrydeligt. (*European Bioplastics, 2018*). Bionedbrydelige bæreposer er designet til at kunne nedbrydes af bakterier eller svampe i miljøer med veldefinerede betingelser, men kan efterlade rester efter en komposteringscyklus. Biokomposterbare bæreposer er fremstillet af bioplastik, vegetabiliske olier og stivelse. Komposteringen forudsætter et dertil indrettet anlæg til affaldsbehandling.

Materialeegenskaber for LDPE bæreposer

LDPE er termoplastisk, det betyder at plastikken bliver blød ved opvarmning og kan formes, men bliver fast igen efter nedkøling. På grund af sin delvis krystallinske struktur, hvor 40-50 % af molekylekæderne er ordnet i tredimensionale gitre, fremstår LDPE som et uklart, let, sejt, fleksibelt materiale. Det smelter omkring 107-115 °C (*Peacock, 2000*). En almindelig plastikbærepose fra supermarkedet vejer ca. 20 gram, kan fragte 15 kg og rumme 10-15 liter. LDPE har fremragende vand- og fugtbestandighed, og god bestandighed over for næsten alle opløsningsmidler og andre

kemikalier (*Plastindustrien-b*, 2021). LDPE bruges til emballage, bæreposer, flasker, kasser, dunke, rør, slanger, kabelisolering, legetøj mm. Ved genanvendelse kan det bruges til at fremstille fleksible madbeholdere f.eks. Tupperware, klembare flasker og poser til frosne fødevarer.

Brugen af LDPE begrænses af at materialet er brandnærende, og drypper som et tændt stearinlys, hvis den antændes.

Nedbrydning af bæreposer i den danske natur

LDPE bæreposer reagerer kemisk med luftens ilt (oxidation), mister sin styrke, bliver bløde og fragmenterer (*Gewert, 2015*). Tynde engangsposer nedbryder hurtigere end tykkere poser, og gennemsigtige poser nedbryder hurtigere end poser med farve, fordi farvestoffer blokerer for sollys og derfor beskytter plastikken. Graden af krystalinitet er også en parameter, der er af væsentlig betydning for nedbrydningshastigheden af PE-polymerer (*Allan, 1992*), da en høj grad af krystalinitet resulterer i en langsommere diffusion af ilt ind i materialet. For at reducere nedbrydningshastigheden vil LDPE derfor normalt vil være tilsat additiver, der hæmmer oxidation. Disse additiver kaldes antioxidant.

Bionedbrydelige bæreposer kan nedbrydes af bakterier eller svampe til vand, biomasse, CO₂ eller metan under veldefinerede betingelser. En undersøgelse i 2019 viste at efter tre år i jorden eller i havet var både almindelige og bionedbrydelige bæreposer i så god stand, at de stadig kunne bære indkøbsvarer (*Napper og Thompson, 2019*). Komposterbare bæreposer nedbrydt til mikroplastik i havet efter kun tre måneder, men i jorden eksisterede de stadig efter 27 måneder.

Nedbrydningstider til mikroplastik for LDPE bæreposer i den danske natur (Se Bilag 2 for litteraturkilder)

- På Strand & Vej (udsat for høje koncentrationer af ilt, sollys, vind og vand)
2-50 år
- I vandløb & søer (udsat for vand, vind og slitage fra bl.a. sand og bølger)
10-20 år

Referencer

Allen, N. S., & Edge, M. 1992. Fundamentals of Polymer Degradation and Stabilization. Elsevier Applied Science - London and New York

European Bioplastics. 2018. What are bioplastics? <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/> -Aktiv september 2021

Gewert, B. et al. 2015. Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment, Environmental Science Processes & Impacts, 17, 1513–1521

Napper, I. E. & Thompson, R.C. 2019. Environmental Deterioration of Biodegradable, Oxo-biodegradable, Compostable, and Conventional Plastic Carrier Bags in the Sea, Soil, and Open-Air Over a 3-Year Period, Environmental Science & Technology. 2019. 53, 9, 4775–4783

Peacock, A.J. 2000. Handbook of Polyethylene. Structures, properties and applications. New York: Marcel Decker Inc.

Plastindustrien-a. 2021. <https://plast.dk/oftede-stillede-spoergsmaal-plastposer/> -Aktiv september 2021

Datablade om plastikaffaldstyper

5: Madbeholder



Madbeholder til salat og færdigretter fremstillet af polypropylen. Ny (øverst) og efter 36 måneder i dagslys. Eksponering til lys har gjort at beholderen er ugenomsigtig, sprød og begyndt at fragmentere. (Foto: Yvonne Shashoua)

Madbeholdere er fortrinsvis lavet af polypropylen (PP) der fremstilles af propylen gas fra råolie, eller fra biobaserede kilder (Gilbert, 2016). Polypropylen er den næstmest producerede plastiktype efter polyethylen (PE). Den kommercielle produktion begyndte i 1957, og i 2019 var den årlige globale markedsværdi på omkring 800 milliarder danske kroner (Global Polypropylene Market Report, 2020). PPs kemiske struktur er næsten som polyethylens, men hvor polyethylen har brintatomer på alle kulstofatomer i polymerkæden, har PP en noget større methylgruppe på hvert andet kulstof. Denne forskel gør PP mere slagfast og sejt, og gør at det kan bruges til bøjelige hængsler i f.eks. vippelåg på flasker og madbeholdere (Kim, 2003). Methylgrupperne gør også at PP nedbryder lettere end polyethylen.

Materialeegenskaber for PP madbeholdere

PP er termoplastisk, hvilket betyder at plastikken bliver blød ved opvarmning og kan formes, men bliver fast igen efter nedkøling. På grund af sin delvis krystallinske struktur, hvor 30-60% af molekylekæderne er ordnet i tredimensionale gitter, fremstår PP som et uklart, let, sejt og fleksibelt materiale. PP smelter ved 130 – 170°C og tåler dermed varme bedre end PE, der smelter ved 100 – 120°C. Omvendt bliver PP meget skørt ved temperaturer lavere end temperaturen i en almindelig husholdningsfryser (-20°). For at PP kan tåle sprøjtestøbning og brugen af produkterne, tilsættes PP antioxidant og UV-absorberende stoffer som phosphitter og sterisk hindrede phenoler (Gahleitner & Paulik, 2014).

Polypropylen er modstandsdygtigt over for fedtstoffer og næsten alle organiske opløsningsmidler ved stuetemperatur, bortset fra kraftige oxidationsmidler, men mindre modstandsdygtigt end PE. PP er derfor velegnet til brug i en lang række produkter fra salatskåle til engangsbrug og til autodele af høj kvalitet, som f.eks. instrumentpaneler, kofangere og dørsider (Gilbert, 2016).

Brugen af PP begrænses af at materialet er brandnærende, og drypper som et tændt stearinlys, hvis den antændes.

Nedbrydning af PP madbeholdere i den danske natur

PP reagerer kemisk med luftens ilt (oxidation), mister sin styrke, bliver blødt og fragmenterer. Nedbrydningsprocessen kører mærkbart hurtigere i sollys, f.eks. på strand, forto og vej, end i skygge. Tynde madbeholdere nedbryder hurtigere end tykkere genstande, og gennemsigtige materialer nedbryder hurtigere farvede, fordi farvestofferne blokerer for virkningen af solens lys og derfor beskytter plasten.

Genstande af PP nedbryder hurtigere end lignende genstande af PE, dvs. med lignende farve og tykkelse, fordi methylgrupperne lettere rammes af oxidation. Dette resulterer i nedbrydning af polymerkæderne (Pedersen, 1999), og dannelse af carbonylgrupper, der giver nedbrudt PP en gullig farve.

Nedbrydningstider til mikroplastik for PP madbeholdere i den danske natur (Se Bilag 2 for litteraturkilder)

- På Strand & Vej (udsat for høje koncentrationer af ilt, sollys, vind og vand)
30-50 år
- I vandløb & søer (udsat for vand, vind og slitage fra bl.a. sand og bølger)
70-100 år

Referencer

Gahleitner, M. & Paulik, C. (2014). Polypropylene in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Weinheim: Wiley-VCH. pp. 1–44. doi:10.1002/14356007.o21_o04.pub2 – Aktiv september 2021

Gilbert, M. 2016. Brydson's Plastics Materials. 8th edition. Butterworth-Heinemann ISBN: 9780323358248

Global Polypropylene Market Report. 2020. Rising Demand for Thermoplastic Materials. finance.yahoo.com. – Aktiv September 2021

Kim, H.S. 2003. Gate location design in injection molding of an automobile junction box with integral hinges, Journal of Materials Processing Technology. 140 (1–3): 110–115. doi:10.1016/S0924-0136(03)00700-3 – Aktiv september 2021

Pedersen, L.B. Plast og Miljø. 1999. Teknisk Forlag A/S. ISBN 8757121974

Datablade om plastikaffaldstyper

6: Vandflasker



Vandflasker fremstillet af polyethylenterephthalat. Ny (til venstre) og efter 2 måneder på skovbunden (til højre). (Fotos: Yvonne Shashoua)

Vandflasker er fremstillet af polyethylenterephthalat (PET). Vandflaskernes låg er lavet af polypropylen (PP).

Materialeegenskaber for PET flasker

PET er en umættet polyester-type. PET fremstilles fra molekylerne ethylenglycol og dimethyl terephthalat, der begge bliver fremstillet på basis af stoffer fra råolie (Denniston et al, 2016).

PET er en termoplastik. Det betyder at plastikken bliver blød ved opvarmning og kan formes, men bliver fast igen efter nedkøling. PET er på grund af den amorfe kemiske struktur glasklar, og derfor anvendes det ofte, hvor man gerne vil kunne vise produktet indeni.

PET-plastik er varmestabilt og derfor kan anvendes fra - 40°C til +70°C, dog smelter materialet først ved 235-260°C. Ud over at være et stærkt materiale med høj slagstyrke, har PET særdeles effektive barriereegenskaber over for vand, CO₂, ilt og kvælstof. PET bruges blandt andet til drikkeflasker, tekstil, elektriske kontakter, blæseformede kander, folie, lyd og billedbånd (Plastindustrien, 2021).

Nedbrydning af PET i den danske natur

PET er en af de kemisk set mest stabile plastiktyper. I sollys reagerer PET primært med ilt, en langsom proces der hedder foto-oxidation. Uden sollys reagerer PET langsommere med vand i luften eller i jorden, en proces der hedder hydrolyse. Det betyder at nedbrydningsprocessen kører langsommere i de måneder hvor Danmark kun får lidt sol og meget regnvejr. Både oxidative og

hydrolytiske reaktioner klipper polymerkæderne over under dannelse af carboxylsyregrupper, og forårsager derved en reduktion i polymerkædernes længde.

De kemiske ændringer ved nedbrydningen betyder at vandflasker bliver svage, sprøde og over tid fragmenterer til mikroplastik. De misfarves også og bliver svagt gule. Slitage fra sand, grus og strøm i den danske natur accelererer nedbrydningsprocessen fordi den skader PETs overflade og øger adgang til ilt og vand.

Bionedbrydning af PET flasker foregår normalt ikke i den danske natur. I 2020 blev der for første gang udviklet et nyt enzym, der indenfor 10 timer kan hydrolysere PET plastikflasker med 90%, men processen kræver temperaturer over 70°C (*Tournier et al, 2020*).

Nedbrydningstider til mikroplastik for PET vandflasker i den danske natur (Se *Bilag 2 for litteraturkilder*)

- På strand & vej (udsat for høje koncentrationer af ilt, sollys, vind og vand)
500 år
- I vandløb & sø (udsat for vand, vind og slitage fra bl.a. sand og bølger)
100-1000 år

Referencer

Denniston, K.J., Topping, D. & Dorr, Q. 2016. General, Organic, and Biochemistry, 9th edition, McGraw-Hill Education

Gewert, B. et al. 2015. Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment, Environmental Science Processes & Impacts, 17, 1513–1521

Plastindustrien.2021. Det Store Plastleksikon, <https://plast.dk/det-store-plastleksikon/#P> – Aktiv september 2021

Tournier, V. et al. 2020. An engineered PET depolymerase to break down and recycle plastic bottles. Nature 580, 216–219. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2149-4>

Datablade om plastikaffaldstyper

7: Kaffekrus



Nye hvide kaffekrus bliver tydeligt gullige og sprøde på overfladen og begynder at fragmentere efter 2 år i det danske vejr (Foto: Yvonne Shashoua)

Engangskaffekrus af plastik har været fremstillet af ekspanderet polystyren (EPS), også kendt som flamingo, siden 1960'erne (*The Greater Lansing Business Monthly*, 2013). Det anslås at der årligt produceres mere end 500 milliarder engangskaffekrus, og at de, hvis anbragt på en række, ville kunne nå rundt om jorden 1360 gange (*Intco recycling*, 2018).

EPS var den første plastikforurening der blev konstateret i oceanernes øvre lag, helt tilbage i 1970'erne, og det findes rutinemæssigt overalt i miljøet i dag (*Carpenter et al.*, 1972).

EU's SUP Direktiv, der trådte i kraft i juni 2011, har til formål at mindske mængden af engangsplast, der ender som affald i naturen og i det marine miljø (*EU*, 2019). I praksis betyder det at udvalgte engangsplastprodukter bl.a. EPS kaffekrus ikke længere kan markedsføres i EU efter d. 3 juli 2021.

Materialeegenskaber for EPS i kaffekrus

Opskummet polystyren danner en stiv og stødabsorberende skum, der består af 95-98% luft, og EPS er derfor er meget let. Densiteten er omkring $0,002 \text{ g/cm}^3$, hvor vand til sammenligning har densiteten 1 g/cm^3 . Det har en fremragende isoleringsevne (*Gilbert*, 2016). EPS er oftest hvidt, og fremstilles af præ-ekspanderede polystyrenkugler. Kuglerne fremstilles ved først at polymerisere styren monomer og forskellige tilsætningsstoffer i vandig opslemning. Disse kugler har en diameter på omkring 0,2 mm. Kuglerne gennemvædes derefter med et opskumningsmiddel, oftest pentan, der får kuglerne at ekspandere når de efterfølgende behandles med damp.

Polystyren er en termoplastik, der er fast og gennemsigtig ved stuetemperatur. Ved temperaturer over 100°C bliver den flydende, ved afkøling størkner den igen. Polystyren må anvendes i kontakt med fødevarer ved temperaturer op til 40°C i ubestemt tid. Ved 70°C dog kun i max. 2 timer. (*American Chemistry Council*, 2014). Polystyrenplastik må ikke anvendes i almindelig ovn og mikrobølgeovn fordi den afgiver giftig styrengas ved temperaturer højere end 120°C . Polystyren har god vand- og fugtbestandighed.

Nedbrydning af EPS kaffekrus i den danske natur

EPS reagerer kemisk med luftens ilt og oxidationsprocessen er accelereret af sollys og i mindre grad af varme (Gewert, 2015). Nedbrydning i naturen foregår derfor langsommere under vand, hvor koncentration af ilt er lavere og sollyset svagere. Polymerkæderne i polystyren nedbrydes under reaktionen med ilt og danner styren. (Ward et al, 2019). Ved nedbrydning bliver kaffekrus gullige på overfladen, der er i kontakt med luften og lys, og bliver sprødt og fragmenterer. Slitage fra sand, grus og strøm accelererer fragmenteringsprocessen ved at danne et større overfladeareal hvor oxidationen kan foregå.

Nedbrydningstider til mikroplastik for EPS kaffekrus i den danske natur (Se Bilag 2 for litteratkilder)

- På strand & vej (udsat for høje koncentrationer af ilt, sollys, vind og vand)
50 år
- I vandløb & søer (udsat for vand, vind og slitage fra bl.a. sand og bølger)
30-500 år

Referencer

American Safety Council. 2014. Polystyrene. ChemicalSafetyFacts.org. American Chemistry Council. May 2014 – Aktiv September 2021

Carpenter, E.J., Anderson, S. J., Harvey, G. R., Miklas, H. P. & Peck, B. B. 1972. Polystyrene Spherules in Coastal Waters. Science, 178, 749–750

EU.2019. Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment.
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_21_2709 - Aktiv september 2021

Gewert, B. et al. 2015. Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment, Environmental Science Processes & Impacts, 17, 1513–1521

Gilbert, M. 2016. Brydson's Plastics Materials. 8th edition. Butterworth-Heinemann ISBN: 9780323358248

Intco Recycling.2018. Disposable polystyrene coffee cups can be recycled with reasonable methods <https://www.intcorecycling.com/disposable-polystyrene-coffee-cups-can-be-recycled-with-reasonable-methods.html> - Aktiv september 2021

Ward, C. P., Armstrong, C. J., Walsh, A. N., Jackson, J. H. & Reddy, C. M. 2019. Sunlight Converts Polystyrene to Carbon Dioxide and Dissolved Organic Carbon. Environmental Science & Technology Letters. 6, 669

The Greater Lansing Business Monthly. 2013.
<https://archive.vn/20130127080026/http://www.lansingbusinessmonthly.com/articles/165-2005-april/2055-dart-delivers-with-innovation.html> - Aktiv september 2021

Datablade om plastikaffaldstyper

8: Engangsbestik



Ny hvid kniv, gaffel og ske bliver tydeligt gullige på overfladen og meget sprøde efter 3 år i det danske vejr (Foto: Asal Peydaie)

Engangsbestik af plast har været fremstillet af polystyren siden 1970'rne. Polystyren (PS) findes i tre primære typer. GPPS eller glasklar polystyren er den type der anvendes til engangsbestik (Gilbert, 2016).

EU's engangsplastikdirektiv trådte i kraft i juni 2019 med det formål at mindske mængden af engangsplast, der ender som affald i naturen og i det marine miljø (EU, 2019). I praksis betyder det at udvalgte engangsplastprodukter bl.a. bestik ikke længere kan markedsføres i EU efter d. 3 juli 2021.

Materialeegenskaber for PS i engangsbestik

Polystyren er en termoplastisk, amorf polymer, der er fremstillet ud fra monomeren styren, der er lavet af råolie. Polystyren er et transparent og meget sprødt materiale, og anvendes, hvor der ønskes et stift produkt, til f.eks. engangsbestik, til engangskopper til varme og kolde drikkevarer og til emballage. Plastikken kan også tilføjes fyldstoffer og farvestoffer så den fremstår som ugenomsigtig og farvet. Polystyren kan anvendes til alle typer fødevarer ved temperaturer op til +40°C i ubestemt tid, og op til +70°C i max 2 timer. Plastikken må ikke anvendes i almindelig ovn og mikrobølgeovn fordi den smelter ved 100-108°C, og afgiver styrengas der er giftig. Polystyren har god vand- og fugtbestandighed, men dårlig bestandighed over for organiske solventer. Under produktion er det flydende polystyren nemt at håndtere til formgivning og derfor kan engangsbestik sprøjteformes i millionvis (Gilbert, 2016).

Nedbrydning af PS engangsbestik i den danske natur

Polystyren i engangsbestik reagerer kemisk med luftens ilt og oxidationsprocessen er accelereret af sollys og i mindre grad af varme (Gewert, 2015). Nedbrydning i naturen foregår derfor langsommere under vand, hvor koncentration af ilt er lavere og sollyset svagere. Sort- og hvidt-farvet bestik nedbryder langsommere end gennemsigtige materialer, fordi både fyldstoffer og farvestoffer beskytter polymeren fra lysets energi. Polymerkæderne i polystyren nedbrydes under reaktionen med ilt og danner styren gas (Mylläri et al, 2015). Ved nedbrydning bliver bestik gulligt, sprødt og fragmenterer. Slitage fra sand, grus og strøm accelererer fragmenteringsprocessen ved at danne et større overfladeareal hvor oxidationen kan foregå.

Nedbrydningstider til mikroplast mindre end 5mm og molekyler for PS engangsbestik i den danske natur

(Se Bilag 2 for litteraturkilder)

- På strand & vej (udsat for høje koncentrationer af ilt, sollys, vind og vand)
50 år
- I vandløb & søer (udsat for vand, vind og slitage fra bl.a. sand og bølger)
100-1000 år

Referencer

EU.2019. Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment.

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_21_2709 - Aktiv september 2021

Gewert, B. et al. 2015. Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment, Environmental Science Processes & Impacts, 17, 1513–1521

Gilbert, M. 2016. Brydson's Plastics Materials. 8th edition. Butterworth-Heinemann ISBN: 9780323358248

Mylläri, V., Ruoko, T-P., & Syrjälä, S. 2015. A comparison of rheology and FTIR in the study of polypropylene and polystyrene photodegradation. Journal of Applied Polymer Science, 132(28), [42246]. doi. 10.1002/app.42246

Datablade om plastikaffaldstyper

9: Gummiballon



Legetøjsfløjte fra Java monteret med nye balloner i 1990 (til venstre). Samme fløjte og balloner år 2000 med tydelige tegn på nedbrydning pga. oxidation (midt). Efter 20 år i den originale indpakning er ballonerne nedbrudt til små stykker (til højre).
(Foto: Yvonne Shashoua)

Balloner af gummi blev først fremstillet kommercielt i 1931, af saft fra gummitræet. Det naturgummi (Latex) vi bruger til balloner i dag, fremstilles af saft fra gummitræet *Hevea Brasiliensis*, der bla. gror i Malaysia. Selvom gummi i dag også fremstilles syntetisk, foretrækkes latex pga. af dets bedre elasticitet.

Siden sidst i halvfjerdserne har man også produceret dyrere balloner af uelastisk, metalliseret plastikfilm, som holder bedre på luften. Disse balloner har en tiltrækkende blank og reflekterende overflade, og forsynes ofte med farvetryk af billeder og mønstre. Balloner af metalliseret film både vejer mindre og har større opdrift, er mere holdbare og holder længere på luften (*Burchette, 1989*). Da nedbrydning af disse balloner er dårligt undersøgt og forstået, vil de ikke blive yderligere omtalt her.

Materialeegenskaber for gummiballon

Ved fremstilling af latexballoner tilsættes der hærdemidler, katalysatorer, olie, farvestof og vand. Ballonforme af metal opvarmes til mellem 38 og 93°C og nedsænkes i et kar med latexblanding. Et størkningsmiddel (som regel en blanding af et calciumsalt, sæbe, talkum og vand) på formen får latexen til at hæfte på den varme form. Tykkelsen af gummilaget afhænger af hvor længe formen er i latexopløsningen. Da gummilaget til balloner skal være tyndt dyppes formen kun i gummiblandingen i få sekunder. Gummilaget på formen tørres og hærder derefter i en ovn. Hærdningen gør gummien fast og uopløselig i vand (*Barlow, 1988*).

Naturgummi giver en meget elastisk ballon der kan strækkes 7 til 8 gange og stadigt vende tilbage til sin oprindelige størrelse og facon (*Hofmann, 1989*). Materialet har også en god tæthed for luft og andre gasser, som f.eks. helium og vanddamp.

Nedbrydning af gummiballoner i den danske natur

Naturgummi anses for at være bionedbrydeligt og miljømæssigt sikkert, men det behandles med ammoniak og andre konserveringsmidler mod bakterienedbrydning der hæmmer nedbrydningsprocessen (*Werner, 1989*). Gummiballoner reagerer kemisk med ilt (oxideres) og nedbrydes til små fragmenter. Oxidationen er kraftigt accelereret af sollys og går derfor hurtigere når materialet findes på stranden eller vandoverfladen end længere nede i vandsøjlen, hvor der er mindre ilt og lyset er svagere

Farvede balloner nedbryder langsommere end hvide, fordi både fyldstoffer og farvestoffer beskytter naturgummiet fra lysets energi.

Nedbrydningstider til mikroplastik for gummiballoner i den danske natur (Se Bilag 2 for litteraturkilder)

- På strand & vej (udsat for høje koncentrationer af ilt, sollys, vind og vand)
10 år
- I vandløb & søer (udsat for vand, vind og slitage fra bl.a. sand og bølger)
50 år

Referencer

Barlow, F.W. 1988. Rubber Compounding: Principles, Materials, and Techniques. Marcel Dekker, Inc.

Burchette, D. K. 1989. A Study of the Effect of Balloon Releases on the Environment. e
National Association of Balloon Artists,
https://www.balloonhq.com/faq/deco_releases/release_study.html - Aktiv september 2021

Werner, H. 1989. Rubber Technology Handbook. Oxford University Press

Datablade om plastikaffaldstyper

10. Mundbind (engangs)



Engangsmundbind fremstilles af flere lag af polypropylen tekstil. Nyt mundbind (venstre) og et henkastet mundbind på fortovet (højre). (Foto: Yvonne Shashoua)

Indførelsen af mundbind var et af de tiltag, der blev indført for at bremse smittehastigheden med Covid-19 fra person til person. Dette medførte en aldrig før set stigning af produktionen af engangsmundbind (*Xinhuanet*, 2020). De fleste af disse var engangsmundbind af polypropylen mikrofibre (*Xu & Ren*, 2021). Fra januar til oktober 2020 anslås det, at der er importeret omkring 700 millioner engangsmundbind til Danmark (*Miljøstyrelsen*, 2021).

Engangsmundbind fremstilles af ikke-vævede stoflag, der har en bedre filtreringsevne over for bakterier, og en mindre luftmodstand end vævet stof. De fleste har to filterlag, der kan tilbageholde partikler større end 1 mikrometer, dvs. en tusindedel millimeter. Det mest anvendte materiale er polypropylen (PP), i en kvalitet på enten i 20 eller 25 gram per kvadratmeter. 20 g/m² materialet fremstilles ved en spinnebindingsproces, hvor smeltet PP spindes til fibre og lægges ud i et filtagtigt net, hvor de under pres og køling binder til hinanden. 25 g/m² stoffet fremstilles med en smelteblæseproces, der på lignende måde presser smeltet PP igennem en form med fine dyser, hvor de med varm luft blæses til bittesmå fibre, hver tyndere end en mikrometer. Ved afkølingen binder fibrene til hinanden (*Henneberry*, 2021).

Selve mundbindene fremstilles på maskiner, der samler filterlagene med yderligere lag, også af PP, forsyner dem med en næsestrimmel og øreelastikker, og svejser lagene sammen med ultralyd. Til slut steriliseres bindene inden de forlader fabrikken (*Dutton*, 2008).

Materialeegenskaber for PP mundbind

PP fremstilles af propylen gas fra råolie, eller fra biobaserede kilder (*Gilbert*, 2016). Polypropylenstoffet til mundbind er et ikke-vævet materiale, dvs. det er fremstillet direkte af smeltet plastik uden at være spundet og vævet først. PP er termoplastisk, hvilket betyder, at plastikken bliver blød ved opvarmning og kan formes, men bliver fast igen efter nedkøling uden at det mister sine egenskaber. Dette gør PP godt til at svejse sammen ved temperaturer på mellem 130 og 170°C, og til at forme i varm tilstand. (*Gahleitner & Paulik*, 2014).

Stof af polypropylen er velegnet til at beskytte bæreren i mindst 4 timer, fordi det næsten ikke absorberer vanddamp (*World Health Organization*, 2020). Dette betyder, at små vanddråber på ydersiden af masken ikke trænger igennem til brugeren, og i stedet falder af eller fordamper igen.

Denne evne til ikke at binde væsker gør det til gengæld vanskeligt at farve PP stof (*Henneberry, 2021*).

PP-stof er meget modstandsdygtigt over for syre og base, og er meget slidstærkt. Desuden isolerer PP bedre end de fleste andre syntetiske fibre, beskytter således bæreren bedre mod temperaturændringer.

Nedbrydning af PP mundbind i den danske natur

PP-materialet i engangsmundbind nedbryder ved, at fibrene slides af ved fysisk påvirkning af vind, sand og andet slid. Forskningen i hvor mange mikrofibre der frigives til naturen, ved nedbrydning af mundbind, er i et meget tidligt stade, og der er derfor kun publiceret data fra laboratorieforsøg. Disse data indikerer at der ved behandling med 180 timers UV-bestråling, og kraftig mekanisk omrøring i kunstigt havvand, kan frigives op til 173.000 fibre per dag fra en enkelt kirurgisk maske (*Saliu et al, 2021*).

Nedbrydningstider til mikroplastik for PP mundbind i den danske natur (Se Bilag 2 for litteratkilder)

- På strand & vej (udsat for høje koncentrationer af ilt, sollys, vind og vand)
50 år
- I vandløb & søer (udsat for vand, vind og slitage fra bl.a. sand og bølger)
80 år

Referencer

Dutton K.C. 2008. Overview and analysis of the meltblown process and parameters. *Journal of Textile Applications and Technological Management*, 6:2008.

Gahleitner, M. & Paulik, C.2014. Polypropylene in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Weinheim: Wiley-VCH. pp. 1–44. doi:10.1002/14356007.o21_o04.pub2 – Aktiv september 2021

Gilbert, M. 2016. Brydson's Plastics Materials. 8th edition. Butterworth-Heinemann ISBN: 9780323358248

Henneberry, B. 2021. How Surgical Masks are Made, Thomasnet.com, https://www.thomasnet.com/articles/other/how-surgical-masks-are-made/#_How_are_Surgical – Aktiv september 2021

Miljøstyrelsen.2021. Engangsmundbind: Kortlægning af mængder, materialer, bortskaffelse og genanvendelse ISBN: 978-87-7038-285-4
<https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2021/apr/engangsmundbind-kortlaegning-af-maengder-materialer-bortskaffelse-og-genanvendelse/> - Aktiv oktober 2021

Saliu, F.,Veronelli, M., Raguso, C. 2021.The release process of microfibers: from surgical face masks into the marine environment, *Environmental Advances* 4 (2021) 100042
<https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100042> - Aktiv september 2021

World Health Organization. 2020. Rational use of personal protective equipment (PPE) for coronavirus disease (COVID-19): interim guidance, 19 March 2020 (No. WHO/2019-nCoV/IPC PPE_use/2020.2). World Health Organization - Aktiv september 2021

Xinhuanet.2020. China focus: mask makers go all out in fight against novel coronavirus. 2020. http://www.xinhuanet.com/english/2020-02/06/c_138760527.htm - Aktiv september 2021

Xu, G.E. & Ren, Z.J. 2021.Preventing masks from becoming the next plastic problem. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 2021; 15 (6) DOI: 10.1007/s11783-021-1413-7 – Aktiv september 2021