

Helene Rødal

Bisfenol A i plast i en sirkulær økonomi

Bacheloroppgave i kjemi

Veileder: Hans Peter Arp

April 2023

Helene Rødal

Bisfenol A i plast i en sirkulær økonomi

Bacheloroppgave i kjemi
Veileder: Hans Peter Arp
April 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for naturvitenskap
Institutt for kjemi



NTNU

Kunnskap for en bedre verden



INSTITUTT FOR KJEMI

KJ2900 - BACHELORPROSJEKT I KJEMI

Bisfenol A i plast i en sirkulær økonomi

Bacheloroppgave skrevet av Helene Rødal

Veileder: Hans Peter Arp

April 2023

Sammendrag

Med utgangspunkt i dagens utfordringer rundt produksjon og avfallshåndtering av plast, har det i denne oppgaven blitt undersøkt hvordan tilsetningsstoffet bisfenol A kan inngå i en sirkulær økonomi. Bisfenol A er et av de mange tilsetningsstoffene i plast som har vist seg å kunne ha skadelig effekt allerede ved lave konsentrasjoner. I en sirkulær økonomi er det en fare for at eksponeringen for bisfenol A kan øke gjennom kontinuerlige utslipp fra og med produksjonstrinnet av plast til forbruk, avfallshåndtering og gjenvinning av avfallet. Forskning viser at bisfenol A har en tendens til å akkumulere i resirkulerte plastprodukter. Med utgangspunkt i avfallshierarkiet kan et alternativ for håndtering av bisfenol A i den sirkulære økonomi være å forsøke å erstatte det med andre stoffer som ikke har skadelige effekter på miljøet. Under en slik overgangsperiode vil det være hensiktsmessig å forbrenne BPA-holdig plast framfor deponi og resirkulering. Dette er et utfordrende dilemma fordi resirkulering på andre fronter kan være bedre enn forbrenning ved at produksjon av ny plast kan begrenses.

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon	1
2	Teori	2
2.1	Hva er plast?	2
2.2	Bisfenol A	2
2.2.1	Kjemisk struktur	2
2.2.2	Bruksområder	3
2.2.3	BPA - konsentrasjoner i plast	3
2.2.4	Effekter på helse og miljø	4
2.2.5	Restriksjoner	5
2.3	Avfallshierarki	5
2.4	Sirkulær økonomi	6
2.4.1	Livssyklus til plast	7
2.4.2	Håndtering av plastavfall i Norge	7
3	Diskusjon	8
3.1	Dilemma: Bisfenol A i sirkulær økonomi	8
3.2	Avfallhierarkiets inndeling	8
3.2.1	Deponering	8
3.2.2	Energiutnyttelse	9
3.2.3	Materialgjenvinning	9
3.2.4	Ombruk	10
3.2.5	Avfallsreduksjon	10
4	Konklusjon	11
	Litteraturliste	12

1 Introduksjon

Forurensing forårsaket av plast kan anses som en av de største miljørelaterte utfordringene verden står ovenfor. Det store forbruket av plast er knyttet til billig og enkel produksjon, samt at plast har egenskaper som er konkurransedyktige mot andre materialer, som for eksempel formbarhet og lavere utslipp av karbon under transport [1][2]. Plast finnes fremdeles i stor grad i produkter som er ment til engangsbruk, som utgjør hele 40 % av plastproduksjonen i verden [3]. Dette skaper et bruk og kast miljø, som gjør det nødvendig å utvikle den sirkulære økonomien [4].

Både produksjon og bruk av plast har økt betraktelig de siste årene, hovedsakelig i forbindelse med emballasje, byggmaterialer og innen medisin. Den økende mengden er utfordrende og øker presset på hvordan avfallet skal håndteres [5]. Dette har ført til uheldig påvirkning på helse og miljø i form av langvarig forurensing [6] [7]. I en artikkel skrevet av Alice Horton kommer det fram at minst like mye plast ble produsert i perioden 2005-2017 som de siste 50 årene [1]. I 2018 ble det produsert omtrent 396 millioner tonn plast i verden, som tilsvarer en økning på 48 millioner tonn fra året før, og det forventes at veksten i produksjon vil øke betraktelig i årene framover [6].

Det stilles stadig strengere krav til regulering av utslipp og ressursutnyttelse i en verden med økt befolkningsvekst. I disse tider blir det derfor mer og mer viktig å få på plass bærekraftige løsninger som sørger for en god sirkulær økonomi og samtidig mindre utslipp, i tillegg til redusert ressursbruk. Faktorer som spiller inn her er hvordan produksjon av plast blir organisert, forbrukervaner, teknologi og muligheten for å endre forbruksmønster [8]. I Oslo kommune, som er Norges mest befolkede kommune, er det satt et mål om at 65% av husholdningsavfall skal være mulig å gjenvinne innen 2030 [9] [10].

Det er påvist over 4000 ulike stoffer i forskjellige former for plast. Dette inkluderer alt fra monomerer til større polymerer, flammehemmere, fyllstoffer, antioksidanter og pigmenter. Det har etter hvert kommet fram at flere av disse stoffene har skadelige effekter, og det er derfor iverksatt ulike tiltak både i Europa og andre deler av verden for å redusere bruken av plast, i tillegg til å utnytte plastkomponentene bedre for å optimalisere den sirkulære økonomien. Noen av de farligste tilsetningsstoffene i plast er stoffene som er hormonforstyrrende og miljøskadelige, som blant annet fettsyreestere og bisfenol A (BPA). BPA er et av de mest brukte tilsetningsstoffene i plast [11] [12].

Et dilemma som må diskuteres er hvorvidt BPA i plast kan inngå i den sirkulære økonomien, med utgangspunkt i avfallshierarkiet, som kategoriserer måtene avfall kan behandles på [13]. Ved å se nærmere på avfallshierarkiet er det mulig å vurdere hva som kan være potensielle løsninger for håndtering av farlige tilsetningsstoffer i plast. For å kunne vurdere dette bør man se på hvordan de plastbaserte produktene kan gjenvinnes, ombrukes, forbrennes eller deponeres og hvordan konsekvensene av hvert trinn blir i en sirkulær økonomi. I denne oppgaven vil derfor de ulike trinnene i avfallshierarkiet bli gjennomgått for å kunne veie fordeler og ulemper knyttet til avfallshåndteringsmetoden opp mot hverandre.

2 Teori

2.1 Hva er plast?

Plast er et syntetisk produsert materiale bestående av alt fra én til flere polymerer. Det vanligste er at ulike tilsetningsstoffer tilsettes for å få dannet en bestemt type plast, og fyllstoffer tilsettes også ofte også for å gjøre plasten hardere [14]. Plast er primært karbonbasert og mye plast produseres av petroleumsbaserte stoffer som etylen og buten, men noe produseres også fra polysakkaridet cellulose som finnes i planter [14] [15].

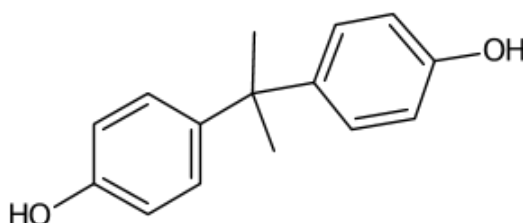
Plast kan på generelt grunnlag deles inn i termoplast og herdeplast. Termoplast har evnen til å bli plastisk når den varmes opp, og kan formes på nytt uten at det forekommer reaksjoner som gjør plasten hardere eller fortykket. Termoplast står for omtrent 80% av plastforbruk og er hyppig brukt i blant annet rør og emballasje i industrien på grunn av dens formbarhet [14] [16]. Herdeplast, også kalt hardplast, dannes når plasten varmes opp og reagerer slik at polymerene i plasten bindes sammen til et større nettverk. Når plasten er herdet er det ikke lenger mulig å gjøre den plastisk og formbar igjen, og den vil heller ikke være løselig i organiske løsemidler. Epoksyplast er et eksempel på herdet plast [14]. Termoplasten er mer velegnet for resirkulering sammenlignet med herdeplast på grunn av sine plastiske egenskaper [15].

2.2 Bisfenol A

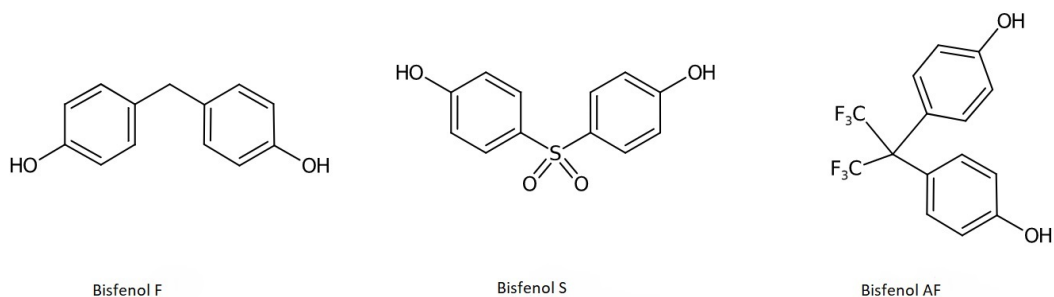
Av de mange tilsetningsstoffene i plast som kan være skadelig for helse og miljø, er bisfenol A (BPA) et av de mest giftige stoffene. BPA er et industriframstilt kjemikalie som kan virke hormonforstyrrende og finnes i plast brukt i emballasje, kosmetikk, industri, medisinsk utstyr og i støv [17].

2.2.1 Kjemisk struktur

BPA er et difenylmetanderivat med to hydroksyfenylgrupper, vist i Figur 1, og tilhører en familie av flere bisfenoler, se Figur 2. I denne organiske forbindelsen er metylhydrogen byttet ut med to metylgrupper, og den kjemiske formelen er $C_{15}H_{16}O_2$, mens IUPAC-navnet er 4,4'-(propan-2,2-diyl)difenol. BPA er et hvitt, fast stoff ved romtemperatur, men er ellers fargeløst. Stoffet er moderat polart og kan løses i organiske løsemidler, men er lite løselig i vann [18].



Figur 1: Illustrasjon av bisfenol A. Illustrasjonen er laget i simolecule.com [19].



Figur 2: Illustrasjon av et utvalg av bisfenoler. Fra venstre; bisfenol F, bisfenol S og bisfenol AF. Illustrasjonen er laget i simolecule.com [19].

2.2.2 Bruksområder

BPA er en mye anvendt monomer på grunn av dens egenskaper som bindemiddel. Denne egenskapen utnyttes til å lage polykarbonatplast og epoksyharpiks. Polykarbonatplast er en hardplast som er sterk og fargeløs. Den brukes hyppig i emballasje, leker og andre forbruksvarer, men også i industri for å forhindre korrosjon [20] [18] [17]. Epoksyharpiks brukes også for å forhindre korrosjon, og anvendes i tillegg som overflatebelegg på bokser, bildeler og andre produkter [21] [22]. BPA bindes svakt til polymeren og tilsettes for å gi plastproduktet ønskede egenskaper, og er derfor en viktig del av sammensetningen. Det at BPA er svakt kjemisk bundet til polymeren gjør at stoffet lettere blir utskilt og kan påvirke miljøet [2][23]. Det produseres omtrent 3,2 millioner tonn BPA i året, i tillegg til at det allerede er store mengder i omløp [24][25].

2.2.3 BPA - konsentrasjoner i plast

I en artikkel skrevet av Xin Wang et al. er det blitt funnet varierende konsentrasjoner av BPA i ulike typer plast. Ved å se i Tabell 1 er den høyeste konsentrasjonen av BPA i resirkulert polyetylentereftalat (PET) [26]. Masteroppgaven til Vanja Stavland viste, til sammenligning med verdiene i Tabell 1, at den gjennomsnittlige verdien for BPA i plastavfall fra forbrukere var $6,71 \cdot 10^{-4}$ mg/g. Av de ulike bisfenolene som er vurdert i hennes masteroppgave er det betydelig høyere forekomst av BPA enn de resterende bisfenolene, mens BPS sto for den nest høyeste konsentrasjonen [27]. Den høyeste BPA-konsentrasjonen ble funnet i plastnett. Innenfor matvarer ble det målt høyest konsentrasjoner i melkeprodukter og grønnsaker, med konsentrasjoner på over $4,0 \cdot 10^{-5}$ mg/g - dette kan skyldes lekkasje fra emballasjen. I masteroppgaven er det også gjort undersøkelser som viser høyere forekomst av BPA i resirkulert PET, med nesten $2 \cdot 10^{-4}$ mg/g mot omtrent $3,5 \cdot 10^{-5}$ i ikke - resirkulert plast. Verdiene samsvarer med verdiene funnet i overnevnte artikkel, se Tabell 1 [26][27].

Tabell 1: Oversikt over målte BPA - verdier i ulike plastprodukter. Innholdet i tabellen er et utvalg hentet fra artikkelen "A probabilistic approach to model bisphenol A (BPA) migration from packaging to meat products"[26].

Materiale	Produkt	min. verdi (mg/g)	maks. verdi (mg/g)
Polyetylen (PE)	Beskyttende film	$2,5 * 10^{-4}$	$4,1 * 10^{-3}$
Polyetylen (PE)	Kontaktfilm til mat	$2,9 * 10^{-6}$	$10,1 * 10^{-6}$
Polyetylentereftalat (PET)	Flaske	$3,8 * 10^{-5}$	$6,4 * 10^{-5}$
Polyetylentereftalat (PET) (ny)	Flaske	$2,5 * 10^{-5}$	$4,3 * 10^{-4}$
Polyetylentereftalat (PET) (Resirkulert)	Flaske	$1,8 * 10^{-4}$	$1,0 * 10^{-2}$

2.2.4 Effekter på helse og miljø

Størsteparten av eksponeringen for BPA kommer fra produksjon, transport, gjennom forbruk av plast i hverdagen og videre gjennom livsløpet til plasten, som også inkluderer resirkulering [17]. BPA-konsentrasjonen i ulike produktkategorier varierer, men er relativt høy i matemballasje. Det er bekreftet at BPA kan lekke ut fra matemballasje, som er skyldig for det største inntaket hos mennesket sammen med hverdagslig bruk av kvitteringer, leketøy og annen emballasje [28]. Inntaket forekommer primært sett oralt, gjennom innånding eller via hudkontakt [22]. BPA kan også lekke ut fra utslipp fra anlegg tilknyttet produksjon av epoksyharpiks og polykarbonat, samt fra avløpsanlegg. Lekkasje skyldes den svake bindingen mellom BPA og polymer [23]. Ved gjenbruk av plast i blant annet resirkulert emballasje øker risikoen for akkumulering av giftstoffene [29][5].

For å kunne si mer om hvordan BPA inngår i en sirkulær økonomi må det undersøkes hvilke effekter stoffet har på omgivelsene. Det har vært en diskusjon de siste årene rundt hvorvidt BPA er skadelig eller ikke når det er brukt som en komponent i plast [26]. Forskning viser at foster som blir utsatt for bisfenoler og ftalater, som er et annet farlig tilsetningsstoff, kan få forstyrrelser i reproduksjonssystemet. Det er også indikasjoner på assosiasjoner til polysystemisk ovariesyndrom (PCOS). Det ser likevel ut til at den største effekten er på reproduksjonssystemet til det mannlige kjønn [30]. Det har også blitt påvist at stoffet er kreftfremkallende med en kobling til brystkreft og prostatakreft [31] [32] [20]. Annen forskning bekrefter overnevnte og har i tillegg vist at BPA kan påvises i urin hos 80% av befolkningen i Nord - Amerika [33]. I denne studien ble det observert en forekomst av barn som hadde blitt utsatt for det hormonforstyrrende stoffet under svangerskapet og senere fikk påvist nevrologiske skader, inkludert påvirkning av hjernens struktur, utvikling av ADHD, angst, depresjon og manglende konsentrasjonsevner. Det har også blitt observert påvirkning av metabolismen hos menn, i tillegg til forstyrrelser i insulinproduksjonen [33]. Stoffet virker hormonforstyrrende i den grad at det etterligner andre hormoner, men kan også hemme hormonproduksjon eller øke den ukontrollert på grunn av BPA sine østrogene egenskaper [34].

Av de ulike bestanddelene som utgjør plast, er det mange av dem som utgjør større nettverk av polymerer. Et større nettverk klarer ikke trenge gjennom hud hos mennesker. Mindre deler som mikroplast og dekomponert plast derimot, har evnen til å trekke inn gjennom huden eller fra matinntak og innånding [2][12].

Mikroplasten inneholder fremdeles BPA og kan gi denne hormonetterlignende effekten, hovedsakelig østrogenermerende effekter [12]. De endokrine effektene kan påvises allerede ved utsettelse for små mengder av BPA [27].

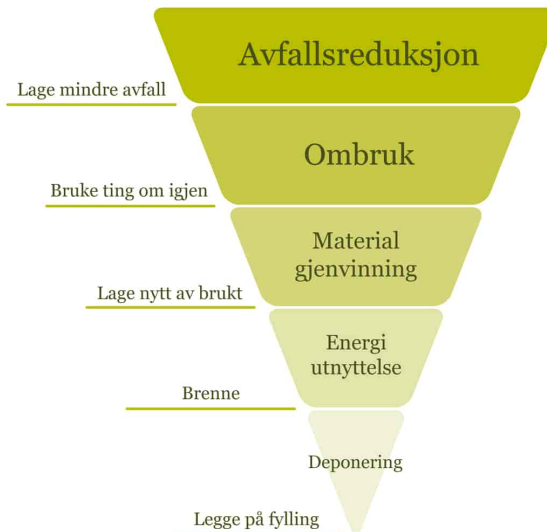
2.2.5 Restriksjoner

ECHA (European Chemicals Agency), etablert av EU, har gjort en vurdering av de kjente bisfenolene og hvordan de burde reguleres for å unngå skadelige påvirkninger. I vurderingen kom det fram at av en større gruppe med 148 bisfenoler var det 34 av dem som måtte reguleres på grunn av hormonforstyrrende effekter. 26 andre bisfenoler ble regulert på grunn av mindre alvorlige effekter, men uten å være påvist hormonforstyrrende. Det manglet nok informasjon om de resterende bisfenolene til å gjøre en fullstendig vurdering [35]. Noen av kravene som har blitt satt er begrensning i bruk av termisk papir (fra 2020) som blant annet utgjør kvitteringer i butikker. Reguleringen setter en maksimal grense på 0,02% BPA i papiret [36]. Noen har valgt å erstatte BPA med BPS, men det mistenkes at også BPS kan ha skadepotensial. Det har også kommet termisk papir uten bisfenoler på markedet [36]. Generelt har det vært krav om begrensning av BPA alene og i forbrukervarer siden 2018 [35].

Det ble i 2022 sendt inn forslag til begrensninger av både BPA og andre bisfenoler med skadelige effekter. Restriksjonen gjelder også matvarer, hvor kravet er at maksimalt 0,05 mg/kg kan lekke ut i mat fra matemballasjen. Det har siden 2011 ikke vært tillatt å bruke BPA i tåteflasker, og siden 2018 heller ikke i plastflasker og matemballasje til barn under tre år. Restriksjonene omfatter også leketøy, og grensen for mengden BPA som er tillatt å lekke ut fra leker er satt til å være 0,04 mg/L BPA [35].

2.3 Avfallshierarki

Et avfallshierarki fungerer som en ramme for avfallshåndtering og er satt opp slik at det mest grunnleggende kravet ligger nederst og de kravene som etterstrebes ligger høyere oppe, se Figur 3. Rangeringen er, fra bunn til topp: deponering, energiutnyttelse, materialgjenvinning, ombruk og avfallsreduksjon. Deponi er et sted der avfall med farlige komponenter kan lagres [37]. Energiutnyttelse oppnår man ved å forbrenne avfallet og lagre varmeenergien til senere bruk. Materialgjenvinning omfatter å resirkulere og bruke komponentene til andre eller nye produkter [13]. Resirkulering kan defineres som produksjon av nye produkter, men fra allerede brukte materialer som har blitt gjenvunnet og eventuelt omformet. De vanligste formene for resirkulering av plast er mekanisk og kjemisk resirkulering [7]. Ved gjenvinning brukes produktene eller deler av produktene om igjen til andre formål. Ombruk er å utnytte selve produktet flere ganger i stedet for å kaste det etter én gangs bruk, for eksempel ved å kjøpe ting på brukmarked framfor å kjøpe nytt. Avfallsreduksjon innebærer mindre produksjon, mindre kasting og mer gjenbruk [13].

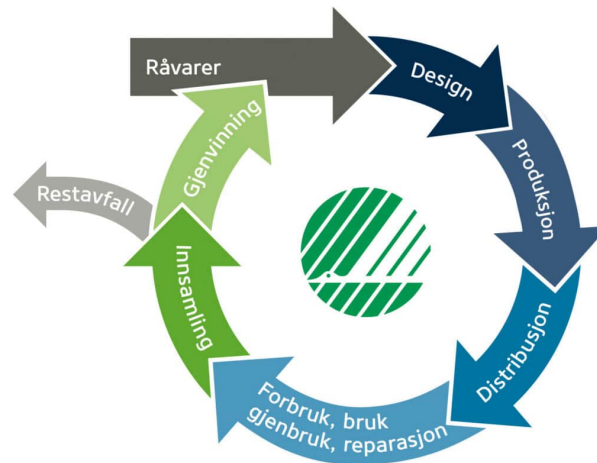


Figur 3: Avfallshierarki. Bildet er hentet fra Store Norske Leksikon [13].

2.4 Sirkulær økonomi

Med utgangspunkt i avfallshierarkiet kan man se nærmere på den sirkulære økonomien. Miljødirektoratet definerer sirkulær økonomi som fullstendig utnyttelse av naturressurser og produkter på en effektiv måte så langt det lar seg gjøre, se Figur 4 [8]. Det skal etterstrebtes at så få ressurser som mulig går tapt, slik at det ikke gripes inn mer i naturen enn hva som kan ansees som forsvarlig eller nødvendig.

Det er potensiale for mer effektiv utnyttelse av ressursene. Ved å utnytte dette potensialet kan skadene på naturen begrenses, og behovet for å hente ut og bruke mer ressurser kan reduseres. Målet med en sirkulær økonomi er at ressursene skal kunne ha lengre holdbarhet, et større bruksområde og kunne gjenbrukes framfor å erstattes. Ved enden av livsløpet kan produktet dersom mulig gjenvinnes og dekomponeres. På denne måten kan noen av bestanddelene utnyttes videre i andre produkter, mens giftige stoffer kan brytes ned til mindre farlige forbindelser [8]. Sirkulær økonomi skiller seg fra lineær økonomi som innebærer produksjon, forbruk og et mindre fokus på gjenvinning [38].



Figur 4: En forenklet oversikt over sirkulær økonomi. Bildet er hentet fra Svanemerket.no [39].

2.4.1 Livssyklus til plast

Når det gjelder plast i den sirkulære økonomi, kan man beskrive plastens livssyklus i fem trinn: ressursutvinning av råmaterialer, produksjon av plast, distribusjon, forbruk og avslutningsvis gjenbruk fra resirkulering. Dersom plasten ikke resirkuleres blir den deponert eller forbrent [23]. Det er det siste steget som vil være viktigst i forbindelse med en sirkulær økonomi [4]. Det vanligste er å fokusere på resirkulering framfor å forbrenne plastavfallet eller frakte det til deponi. Spørsmålet er om dette også burde være gjeldende prosedyre for tilsetningsstoffer som BPA eller om andre løsninger kan være bedre for miljøet.

2.4.2 Håndtering av plastavfall i Norge

Globalt sett har det blitt produsert over 300 millioner tonn plast i 2020, og dette er uten hensyn til det resirkulerte materialet [23][32]. Av omtrent 300 millioner tonn, har nærmere 74 millioner tonn av dette blitt brukt i emballasje til mat og drikke [32]. I Norge kaster hver person 101 kg plast i løpet av et år, og ifølge Avfall Norge og Handelens Miljøfond ble 28% av plastemballasje resirkulert i 2020 [40]. Med et økende forbruk og større mengde avfall de siste tiårene har det vært nødvendig å jobbe målrettet for å oppfylle kravene som settes innenfor avfallsbehandling. Derfor er det ikke lenger tillatt å deponere kildesortert avfall som i utgangspunktet er samlet inn for å gjenvinnes i Norge [41]. Det benyttes hovedsakelig to metoder for å samle inn plast: henteordninger hvor avfallet hentes hos husholdningen, og en fraktordning hvor husholdningene må levere plastavfallet til et fellespunkt [42].

Det meste av plastemballasje som kommer husholdninger i Norge sendes til Tyskland for videre behandling, i motsetning til plastemballasje fra industri og produksjon som blir materialgjenvunnet i Norge. De eneste anleggene i Norge som resirkulerer plast er i Stavanger og på Romerike [43]. Ifølge Avfall Norge blir plasten i Tyskland nøye sortert og resirkulert, i tillegg til at lasten som sendes til utlandet for behandling er sporbar [40][5]. Likevel kommer det fram at kapasiteten for avfallshåndtering er begrenset, og det er mulig at plastavfallet blir solgt fra Tyskland til andre land som ikke dokumenterer den videre avfallsbehandlingen

[5][44][2]. Med stadig strengere krav kan det være at Norge må øke sin kapasitet for å behandle plasten innenlands uten å kunne sende det til andre land for videre behandling [40].

Selv om det allerede finnes løsninger for sortering av plast er det potensiale for forbedring og utvikling. Det er nødvendig å ta hensyn til implikasjoner som omfatter eksponering for BPA og at forbrukerens oppfatning av avfallshåndteringen ikke nødvendigvis samsvarer med de mulige miljømessige konsekvensene av stoffene som er i omløp [24][4].

3 Diskusjon

3.1 Dilemma: Bisfenol A i sirkulær økonomi

I en sirkulær økonomi er en av utfordringene å holde oversikt over hvor i plastens livssyklus og i hvilken mengde tilsetningsstoffene lekker ut [2][5]. For å undersøke hvordan tilsetningsstoffer går inn i en sirkulær økonomi er det nødvendig at det finnes gode metoder for å påvise og separere stoffene fra de større forbindelsene. Det må undersøkes hvor energikrevende separasjon er, samt hvor mye avfall som blir dannet i prosessene. Et av målene i sirkulærøkonomien er at det ikke skal være noe avfall til overs, men at alle bestanddeler skal kunne utnyttes. Overskudd av kjemiske komponenter fra restprodukter kan brukes til andre forbindelser i sin helhet eller ved en ytterligere separasjon. En utfordring er at det per nå ikke finnes noe universalt løsemiddel som er egnet for alle typer plast [32]. Et av de største dilemmaene innenfor dette temaet er at det er ønskelig å begrense eksponeringen for BPA, samtidig som det er ønskelig å redusere produksjonen av nye plastprodukter og heller gjenbruke produktene som allerede finnes.

3.2 Avfallhierarkiets inndeling

3.2.1 Deponering

Innenfor avfallshierarkiet er noen av målsetningene at avfallsmengden skal reduseres, at produkter skal ha lengre levetid, og at farlige miljø- og helsepåvirkninger gjennom utslipp av skadelige kjemikalier skal reduseres. Deponering ligger nederst i hierarkiet, ettersom ved deponering vil avfallet bli liggende over lengre tid. Det er forskjell på ulike typer plast, men de har til felles at de sjeldent brytes helt ned uavhengig om de er nedbrytbar eller ikke. Nedbrytbar plast kan brytes ned i anlegg ved riktig temperatur over lengre tid, men ikke i naturen. Plasten kan degraderes, men vil uansett kunne forekomme som mikroplast og brytes sjelden fullstendig ned. Den lange nedbrytningstiden er en utfordring i deponi [45][2].

Ved å deponere BPA-holdig plast vil mengden BPA i diverse kretsløp kunne øke. Når avfallet blir liggende kan BPA lekke ut i omgivelsene [2]. Dette kan medføre en økt risiko for at stoffet reagerer med andre stoffer og danner uønskede forbindelser, i tillegg til at det kan lekke ut i jord eller drikkevann dersom det er vannkilder i nærheten. Det er spesielt bekymringsverdig i denne situasjonen at BPA er vannløselig og også kan lekke ut i grunnvann [24]. Deponi har vist seg å være den største kilden til utslipp av BPA i Norge med inntil 13% utslipp av den deponerte BPA-mengden [24], og er derfor et mindre gunstig alternativ for

avfallshåndtering av plast. I tillegg kan potensielle råstoffer gå tapt under deponeringen [46].

3.2.2 Energiutnyttelse

Energiutnyttelse av plast er vanlig, og når plasten forbrennes blir varmeenergien lagret til senere bruk. På denne måten får man utnyttet ressursene framfor å la dem bli liggende i et deponi. Denne varmen kan så brukes til oppvarming av husstander eller til industri [47]. En ulempe er at BPA er påvist i både vannprøver, jordprøver og luftprøver og er bekreftet relatert til forbrenning av plast. BPA i plast blir destruert ved forbrenning, som kan være både positivt og negativt, men det vil likevel kunne være en bedre løsning å forbrenne BPA-holdig plast framfor deponering fram til nye og bedre metoder for behandling utvikles [23][2]. Selv om noe BPA vil kunne påvises i ulike naturprøver, er mengden betraktelig mindre enn ved deponi som kan ha høy grad av lekkasje. Sammenlignet med 13% utslipp fra deponi, er utslippet av BPA kun 0,001% fra forbrenning [24]. Sett i en sirkulær økonomi kan hovedutfordringen med forbrenning ansees å være tap av plast, men også varme og muligens andre stoffer som slippes ut i atmosfæren [2]. Forbrenning øker også utslippet av karbondioksid og giftige gasser til atmosfæren [48][7][2]. Fram til andre løsninger er på plass vektes det sterkt at omtrent 99,9% BPA fjernes ved forbrenning [24].

3.2.3 Materialgjenvinning

En konsekvens av resirkulert plast er akkumuleringen av farlige stoffer i det gjenvunnede produktet. De farlige tilsetningsstoffene i plast kan gå rett over i nye resirkulerte produkter og forsterke skaden på miljøet. Undersøkelsene i masteroppgaven til Vanja T. Stavland viste en betydelig økt forekomst av BPA i resirkulert plast, som kan skyldes denne akkumuleringen [27]. Resirkulert plast vil likevel kunne redusere behovet for videre produksjon av plast, slik at den totale mengden farlige stoffer på sikt vil reduseres og ikke økes.

Av mekanisk og kjemisk resirkulering er mekanisk resirkulering den vanligste metoden, ettersom det enklere kan bygges ut generelle anlegg for dette og metoden er billigere [2]. Metoden anvendes fortrinnsvis på plast som består av én polymertype, og vil gjennom flere steg som for eksempel størrelsesreduksjon, vasking og tørking reprocessere plasten uten å endre dens sammensetning. Uheldigvis bidrar denne prosessen til et høyt utslipp av tilsetningsstoffer, slik som deponering og forbrenning [2]. Kjemisk resirkulering er nyttig for å separere kjemiske komponenter, men kan være svært dyrt og er lite utbredt i Norge og generelt i Europa, blant annet på grunn av en manglende kontinuerlig strøm av råmaterialer [27][45][49].

Et alternativ er å fjerne bisfenol A ved pyrolyse som er en form for kjemisk resirkulering [2] [27]. Pyrolyse er en behandling som innebærer depolymerisasjon under forhold med lite oksygen, og brukes på plast av flere typer polymerer. Metoden kan utnyttes til å produsere nafta (flytende hydrokarboner), som kan brukes til å lage polypropylen og polyetylen på nytt [7][50]. Det må tas hensyn til at en kjemisk fjerning av bisfenol A er energikrevende og går utover det totale energiregnskapet.

Plast har en av de laveste ratene for resirkulering med en gjenvinningsgrad på ca. 33% [44]. En av utfordringene med resirkulering er plastproduktene sammensetning av forskjellige polymerer og andre komponenter, og at separasjon er energikrevende [7][4]. Den beste løsningen ville vært å resirkulere plastprodukter med

kjent innhold og konsentrasjon til et tilsvarende produkt som for eksempel brusflasker. Ved å kombinere kjemisk og mekanisk resirkulering, kan den totale gjenvinningsgraden økes [4].

Ifølge Grønt Punkt Norge - som eies av materialselskapene for emballasje Norsk Glassgjenvinning AS, Norsk Metallgjenvinning AS, Norsk Resy AS, Norsk Returkartong AS og Plastretur AS - blir det brukt over 100.000 tonn plastemballasje årlig i norske hjem [51][43]. Dersom denne mengden plast skal kunne gjenvinnes må det være et godt samarbeid med Norges kommuner slik at det sikres et innsamlingssystem som er lett og motiverende for befolkningen å bruke. Per nå er en stor utfordring at mange ikke sorterer plastavfallet sitt, men blander det med restavfall eller at plasten ikke rengjøres for matrester og på denne måten ikke kan gå videre til gjenvinning og resirkulering [43]. I en sirkulær økonomi er organiseringen av gjenvinning og resirkulering et svært viktig punkt.

Plast sin livssyklus i en sirkulær økonomi er mer sammensatt. Ettersom plast består av mange ulike komponenter må det vurderes hvordan komponentene kan degraderes fra plastforbindelser samt hvilke av stoffene som har potensiale til å gjenbrukes samtidig som miljøet påvirkes minst mulig. Globalt sett blir kun 9% av innlevert plastavfall resirkulert, og realistisk sett er det mulig at det faktiske tallet er enda lavere [52][44]. Det er store forskjeller på hvor godt plasten resirkuleres både innenfor Europa og i resten av verden.

3.2.4 Ombruk

Fra et miljømessig perspektiv kan det være ønskelig at produkter, dersom mulig, blir brukt om igjen flere ganger før det kastes. Ved bruk av engangsprodukter blir mengden avfall som kan ende opp på deponi eller til forbrenning større fordi det kreves mer plast til å dekke behovet, og utfordrer dagens avfallssystem som ikke har kapasitet til å håndtere den økende mengden avfall. Det er nødvendig å fokusere på eksponeringsfare for BPA ved ombruk av produkter, spesielt dersom produktet er resirkulert, på grunn av en fare for akkumulert BPA. Utfordringen er at produkter som gjenbrukes kan ha en ukjent BPA-konsentrasjon, og det kan være vanskelig å kontrollere omfanget av eksponeringen. Det vil kunne være fordelaktig å ombruke produktene i størst grad mulig dersom det kan kontrolleres at mengden BPA, men også andre skadelige tilsetningsstoffer ikke overskrider bestemte grenser. Ombruk vil avlaste systemene for søppelhåndtering, men også bidra til å redusere produksjonen av ny plast som øker den totale mengden tilsetningsstoffer i miljøet.

Produkter som har påvist høy konsentrasjon av BPA og i tillegg er rettet mot barn, som leker, vannflasker og annen emballasje burde forbrennes framfor å bli gjenbrukt. Det gjelder spesielt produkter som har blitt produsert for mange år siden, før strengere regelverk rundt BPA-konsentrasjoner kom. Ved gjenbruk av produkter som ble produsert før kravene til lekkasjebegrensning kom, øker sannsynligheten for at flere utsettes for en langvarig eksponering av BPA.

3.2.5 Avfallsreduksjon

En optimalisert sirkulær økonomi er sentral for å redusere avfallsproduksjonen [7]. Ved å forsøke å redusere avfallet som blir produsert er det sannsynlig at det vil bli mindre deponi og energiutnyttelse, og mer gjenbruk. Med dagens forbruksvaner, hvor man på mange områder har gjort seg avhengig av å bruke plast, vil det være

urealistisk å skulle kutte forbruket brått. Dersom endringer blir innført gradvis, er det større sannsynlighet for at reduksjonen av avfall lykkes. En av de største utfordringene vil være å finne erstatninger for BPA og andre skadelige bisfenoler og tilsetningsstoffer i plast. For at det skal lønne seg å erstatte disse må det være med stoffer som er mindre eller ikke skadelige overhodet.

For at avfallsmengden skal kunne reduseres er det viktig å tilrettelegge for at plasten enkelt kan sorteres og gjenvinnes. Mindre plastproduksjon vil redusere mengden BPA som slipper ut i miljøet. På sikt kan det tenkes at en gradvis utfasing av skadelige bisfenoler vil være mulig, først og fremst av BPA, men det vil kunne ta tid å få på plass gode alternativer. I mellomtiden vil det med hensyn på BPA være fordelaktig å forbrenne plasten. Det er gode sjanser for å finne en erstatning, ettersom BPA i flere produkter blir benyttet i etiketten og ikke andre deler av produktet [53]. Forbud mot produksjon av plast kan være en løsning, men krever at det finnes realistiske erstatninger, som også er trygge og bærekraftige.

Forbrukeradferden er en av de største utfordringene, og gir en stor etterspørsel på plastprodukter. Manglende kunnskap og interesse for gjenvinning og avfallsreduksjon kan skyldes at implikasjonene av forbruket ikke er forstått av hver enkelt [46]. Fra et miljøperspektiv vil den beste løsningen generelt være resirkulering, ombruk og ikke minst avfallsreduksjon, mens forbrenning vil være den beste løsningen for BPA-holdig avfall på grunn av faren for eksponering. Løsningen bør være midlertidig fram til mindre skadelige erstatninger er på plass og produksjonen og bruk av BPA kan fases ut.

4 Konklusjon

Det kan konkluderes med at den beste måten å behandle BPA i plast i en sirkulær økonomi er ved energiutnyttelse gjennom forbrenning og eventuelt pyrolyse der mekanisk resirkulering ikke er aktuelt. [2]. Deponi bør unngås fordi metoden kan opptre som en lokal kilde for BPA-utslipp. Det trengs mer forskning på hvor det er størst lekkasje av stoffet [24]. Forbrenning vil være den beste løsningen i en overgangsperiode, framfor å deponere eller resirkulere plasten. I overgangsperioden kan det så utvikles nye sammensetninger som gradvis kan fase ut bruken av BPA. Med effektive tiltak vil BPA over tid fases ut av den sirkulære økonomien, og plast kan dermed resirkuleres uten bekymring for akkumulering av BPA i gjenvunnet plast. Det vil være ressurskrevende å påvirke energiregnskapet dersom man skal bruke krefter på å fjerne BPA fra miljøet, og det vil sannsynligvis være mer hensiktsmessig å redusere bruken av BPA samtidig som resterende mengder går til forbrenning. Det er også nødvendig med innovasjon innenfor avfallshåndteringen slik at gjenvinningsgraden økes [5]. Ved å utforme plastsammensetningen av komponenter som er enklere å resirkulere, vil det gi en bedre sirkulær økonomi, men så lenge man er avhengig av deponering og forbrenning i plasten sin livssyklus, vil det begrense hvor godt det kan oppnås [2].

Ettersom alle stegene i avfallshierarkiet kan føre til eksponering av BPA, må det aktivt jobbes mot en avfallsreduksjon [2]. Den aller beste løsningen på problemstillingen er å målrettet bevege seg mot en sirkulær økonomi som tar sikte på å begrense og avskaffe bruken av BPA i plast, på grunn av stoffets skadelige effekter.

Litteraturliste

- [1] Alice A. Horton. «Plastic pollution: When do we know enough?» I: *Journal of Hazardous Materials* 422 (2022), s. 126885. ISSN: 0304-3894. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126885>.
- [2] John D. Chea et al. «A generic scenario analysis of end-of-life plastic management: Chemical additives». I: *Journal of Hazardous Materials* 441 (2023), s. 129902. ISSN: 0304-3894. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129902>.
- [3] Cyrus Martin. «Plastic world». I: *Current Biology* 29.19 (2019), R950–R953. ISSN: 0960-9822. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.09.019>.
- [4] Mathilde R. Johansen et al. «A review of the plastic value chain from a circular economy perspective». I: *Journal of Environmental Management* 302 (2022), s. 113975. ISSN: 0301-4797. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113975>.
- [5] Nicolò Aurisano et al. «Enabling a circular economy for chemicals in plastics». I: *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* 31 (2021), s. 100513. ISSN: 2452-2236. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100513>.
- [6] Mehnaz Shams et al. «Plastic pollution during COVID-19: Plastic waste directives and its long-term impact on the environment». I: *Environmental Advances* 5 (2021), s. 100119. ISSN: 2666-7657. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100119>.
- [7] Shashi Chawla et al. «Environmental impacts of post-consumer plastic wastes: Treatment technologies towards eco-sustainability and circular economy». I: *Chemosphere* 308 (2022), s. 135867. ISSN: 0045-6535. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135867>.
- [8] Miljødirektoratet. *Sirkulær økonomi*. URL: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/sirkular-okonomi/> (sjekket 24. feb. 2023).
- [9] Renovasjons- og gjenvinningsetaten. *Utredning med tiltak for utslippsfri og ressurseffektiv avfallshåndtering i Oslo*. URL: <https://bit.ly/3UGrsUC> (sjekket 14. apr. 2023).
- [10] Statistisk Sentralbyrå. *Norges 100 mest folkerike kommuner*. URL: <https://www.ssb.no/befolkning/folketall/artikler/norges-100-mest-folkerike-kommuner> (sjekket 14. apr. 2023).
- [11] Lisa Zimmermann et al. «Plastic Products Leach Chemicals That Induce In Vitro Toxicity under Realistic Use Conditions». I: *Environmental Science & Technology* 55.17 (2021), s. 11814–11823. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c01103>.
- [12] Paromita Chakraborty et al. «Endocrine-disrupting chemicals used as common plastic additives: Levels, profiles, and human dietary exposure from the Indian food basket». I: *Science of The Total Environment* 810 (2022), s. 152200. ISSN: 0048-9697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152200>.
- [13] Helene Øyangen Lindberg. *Avfallshierarki*. URL: <https://snl.no/avfallshierarki> (sjekket 16. mar. 2023).
- [14] Lars Egil Helseth. *plast*. URL: <https://snl.no/plast> (sjekket 25. feb. 2023).

-
- [15] Marianne Gilbert. «Chapter 1 - Plastics Materials: Introduction and Historical Development». I: *Brydson's Plastics Materials (Eighth Edition)*. Eighth Edition. Butterworth-Heinemann, 2017, s. 1–18. ISBN: 978-0-323-35824-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35824-8.00001-3>.
- [16] Michel Biron. «3 - Thermoplastics: Economic Overview». I: *Material Selection for Thermoplastic Parts*. Oxford: William Andrew Publishing, 2016, s. 77–111. ISBN: 978-0-7020-6284-1. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-6284-1.00003-9>.
- [17] Trine Husøy. *Fakta om bisfenol A og helserisiko*. URL: <https://www.fhi.no/ml/miljo/miljogifter/fakta/bisfenol-a-og-helserisiko---faktaar/> (sjekket 23. feb. 2023).
- [18] PubChem. *Bisphenol A*. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Bisphenol-A#section=2D-Structure> (sjekket 23. feb. 2023).
- [19] Simolecule. *CDK Depict*. URL: <https://www.simolecule.com/cdkdepict/depict.html> (sjekket 15. mar. 2023).
- [20] Takashi Yamamoto et al. «Bisphenol A in hazardous waste landfill leachates». I: *Chemosphere* 42.4 (2001), s. 415–418. ISSN: 0045-6535. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(00\)00079-5](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(00)00079-5).
- [21] Lars Egil Helseth. *Epoksyharpikser*. URL: <https://snl.no/epoksyharpikser> (sjekket 16. apr. 2023).
- [22] Alan L. Blankenship og Katie Coady. «Bisphenol A». I: *Encyclopedia of Toxicology (Second Edition)*. Red. av Philip Wexler. Second Edition. New York: Elsevier, 2005, s. 314–317. ISBN: 978-0-12-369400-3. DOI: <https://doi.org/10.1016/B0-12-369400-0/00139-3>.
- [23] João Pinto da Costa et al. «Plastic additives and microplastics as emerging contaminants: Mechanisms and analytical assessment». I: *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 158 (2023), s. 116–898. ISSN: 0165-9936. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2022.116898>.
- [24] Hans Peter H. Arp et al. «The mass flow and proposed management of bisphenol A in selected Norwegian waste streams». I: *Waste Management* 60 (2017). Special Thematic Issue: Urban Mining and Circular Economy, s. 775–785. ISSN: 0956-053X. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.002>.
- [25] Amir Miodovnik. «Prenatal Exposure to Industrial Chemicals and Pesticides and Effects on Neurodevelopment». I: *Encyclopedia of Environmental Health (Second Edition)*. Second Edition. Oxford: Elsevier, 2019, s. 342–352. ISBN: 978-0-444-63952-3. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11008-5>.
- [26] Xin Wang et al. «A probabilistic approach to model bisphenol A (BPA) migration from packaging to meat products». I: *Science of The Total Environment* 854 (2023), s. 158815. ISSN: 0048-9697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158815>.
- [27] Vanja Thorbjørnsen Stavland. *Occurrence of bisphenols and benzophenone UV-filters concentrations in plastic waste: A circular economy perspective*. Høgskoleringen 1, 2021.
- [28] National Institute of Environmental Health Sciences. *Bisphenol A (BPA)*. URL: <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/sya-bpa/index.cfm> (sjekket 19. apr. 2023).
-

-
- [29] Ed Cook et al. «Plastic waste reprocessing for circular economy: A systematic scoping review of risks to occupational and public health from legacy substances and extrusion». I: *Science of The Total Environment* 859 (2023), s. 160385. ISSN: 0048-9697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160385>.
- [30] Sophia M. Blaauwendraad et al. «Associations of maternal urinary bisphenol and phthalate concentrations with offspring reproductive development». I: *Environmental Pollution* 309 (2022), s. 119–745. ISSN: 0269-7491. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119745>.
- [31] Darcie D. Seachrist et al. «A review of the carcinogenic potential of bisphenol A». I: *Reproductive Toxicology* 59 (2016), s. 167–182. ISSN: 0890-6238. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2015.09.006>.
- [32] Fleurine Akoueson et al. «Identification of plastic additives: Py/TD-GC-HRMS method development and application on food containers». I: *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 168 (2022), s. 105–745. ISSN: 0165-2370. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2022.105745>.
- [33] Jing Zheng et al. «The effects of prenatal bisphenol A exposure on brain volume of children and young mice». I: *Environmental Research* 214 (2022), s. 114–040. ISSN: 0013-9351. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114040>.
- [34] Okugbe E. Ohore og Songhe Zhang. «Endocrine disrupting effects of bisphenol A exposure and recent advances on its removal by water treatment systems. A review». I: *Scientific African* 5 (2019), s. 00135. ISSN: 2468-2276. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00135>.
- [35] European Chemicals Agency. *Bisphenols*. URL: <https://echa.europa.eu/hot-topics/bisphenols> (sjekket 11. apr. 2023).
- [36] Spesialpapir Norge AS. *Bisfenol A*. URL: <https://spesialpapir.no/bisfenol-a> (sjekket 11. apr. 2023).
- [37] Helene Øyangen Lindberg. *Avfallsdeponi*. URL: <https://snl.no/avfallsdeponi> (sjekket 16. apr. 2023).
- [38] Piero Morsetto. «Sometimes linear, sometimes circular: States of the economy and transitions to the future». I: *Journal of Cleaner Production* 390 (2023), s. 136–138. ISSN: 0959-6526. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136138>.
- [39] Svanemerket. *Sirkulær Økonomi*. URL: <https://svanemerket.no/sirkulaer-okonomi/> (sjekket 15. mar. 2023).
- [40] Avfall Norge. *Plastavfall*. URL: <https://avfallnorge.no/om-bransjen/plastavfall> (sjekket 15. mar. 2023).
- [41] Regjeringen.no. *Strengere regler for deponering av avfall*. URL: https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/strengere-regler-for-deponering-av-avfall/id2946056/?fbclid=IwAR1lhKxISKr5_FR5lKof1vEY5m19Kgn3r6DOLD04MlcncGzBvmsFw_AeBDc (sjekket 27. apr. 2023).
- [42] Marie Hebrok et al. *Plastsortering i norske kommuner - hvorfor er det så store forskjeller?* URL: <https://bit.ly/41Qvk7M> (sjekket 15. mar. 2023).
- [43] Grønt Punkt Norge. *Fem fakta - hva skjer med plasten du sorterer?* URL: <https://www.grontpunkt.no/aktuelt/nyheter/fem-fakta-hva-skjer-med-plasten-du-sorterer/> (sjekket 26. feb. 2023).
-

-
- [44] Irdanto Saputra Lase et al. «How much can chemical recycling contribute to plastic waste recycling in Europe? An assessment using material flow analysis modeling». I: *Resources, Conservation and Recycling* 192 (2023), s. 106916. ISSN: 0921-3449. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106916>.
- [45] K.O. Babaremu et al. «Sustainable plastic waste management in a circular economy». I: *Heliyon* 8.7 (2022), e09984. ISSN: 2405-8440. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09984>.
- [46] Fahimeh Khatami et al. «Efficiency of consumer behaviour and digital ecosystem in the generation of the plastic waste toward the circular economy». I: *Journal of Environmental Management* 325 (2023), s. 116555. ISSN: 0301-4797. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116555>.
- [47] Janusz Wojciech Bujak. «Thermal utilization (treatment) of plastic waste». I: *Energy* 90 (2015), s. 1468–1477. ISSN: 0360-5442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.106>.
- [48] Yee Van Fan et al. «Life cycle assessment of plastic packaging recycling embedded with responsibility distribution as driver for environmental mitigation». I: *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 31 (2023), s. 100946. ISSN: 2352-5541. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100946>.
- [49] Hamza Mumtaz et al. «Hydrothermal treatment of plastic waste within a circular economy perspective». I: *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 32 (2023), s. 100991. ISSN: 2352-5541. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.100991>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352554123000256>.
- [50] Alexander H. Tullo. *Plastic has a problem; is chemical recycling the solution?* 2019.
- [51] Forbrukerrådet. *Grønt Punkt*. URL: [https://www.forbrukerradet.no/merkeoversikten/andre/grontpunkt/\(sjekket 26. feb. 2023\)](https://www.forbrukerradet.no/merkeoversikten/andre/grontpunkt/(sjekket%2026.%20feb.%202023)).
- [52] Rumana Hossain et al. «Full circle: Challenges and prospects for plastic waste management in Australia to achieve circular economy». I: *Journal of Cleaner Production* 368 (2022), s. 133127. ISSN: 0959-6526. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133127>.
- [53] Paul E. Rosenfeld og Lydia G.H. Feng. «17 - Mercury, BPA, and Pesticides in Food». I: *Risks of Hazardous Wastes*. Boston: William Andrew Publishing, 2011, s. 223–235. ISBN: 978-1-4377-7842-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-7842-7.00017-9>.

