

Miljøprojekt nr. 288

1995

Miljøvurdering af LLDPE

Miljøprojekt

- Nr. 178: Farveseparering af skår
- Nr. 179: Eco-labelling of Paper Products
- Nr. 180: Renere teknologi - bygge- og anlægsaffald
- Nr. 181: Beton med nedknust tegl som tilslag
- Nr. 182: Model til risikoanalyse af værtsmikroorganismer
- Nr. 183: Eksempler på risikoanalyse af værtsmikroorganismer
- Nr. 184: Danske sure og forsuringstruede søer
- Nr. 185: Jernudvaskning fra drænedede pyritholdige arealer
- Nr. 186: Kommunale affaldsplaner
- Nr. 187: Planteplankton - metoder
- Nr. 188: Økotoxikologisk vurdering af industrispildevand
- Nr. 189: Renere teknologi ved fremstilling af støberikærner
- Nr. 190: Ozonlagsnedbrydende stoffer - forbrug i 1990
- Nr. 191: Renere teknologi i jern- og metalstøberier
- Nr. 192: Dimensionering af grødefyldte bassiner til okkerrensning
- Nr. 193: Restprodukter fra røggasrensning ved affaldsforbrænding 2
- Nr. 194: Kildesortering i Kolding kommune
- Nr. 195: Lokal-kompostering i tæt, lav bebyggelse
- Nr. 196: Substitution af kviksølv i produkter
- Nr. 197: Grønne indkøb i amter og kommuner
- Nr. 198: Kommunale affaldsregulativer
- Nr. 199: Vegetabiliske olier - holdninger i den grafiske branche
- Nr. 200: Vandfugle og søers miljøtilstand
- Nr. 201: Ozonlagsnedbrydende stoffer - forbrug i 1991
- Nr. 202: Genanvendelse kontra forbrænding af mælkekartoner
- Nr. 203: Risikoscreening ved nyttiggørelse og deponering af slagge
- Nr. 204: Miljø- og arbejdsmiljøvurdering af materialer
- Nr. 205: Zooplankton i søer - metoder og artsliste
- Nr. 206: 2-delt indsamling i etageboliger i Svendborg kommune
- Nr. 207: 2-delt indsamling i etageboliger i Århus kommune
- Nr. 208: Vejles affaldssystem
- Nr. 209: Jernudvaskning ved dræning af arealer med jern i grundvand
- Nr. 210: Branchebekendtgørelser som styringsmiddel i miljøpolitikken
- Nr. 211: Okkerbelastning af jyske vandløb
- Nr. 212: Miljø og arbejdsmiljø i den grafiske branche
- Nr. 213: Forbrug af og forurening med cadmium
- Nr. 214: 3-delt indsamlingssystem for dagrenovation
- Nr. 215: Forebyggende miljøarbejde
- Nr. 216: Korrosionsbeskyttelse af stålkonstruktioner
- Nr. 217: Indsamling af køleskabe og fryser
- Nr. 218: Miljøvurdering af fotokemikalier
- Nr. 219: Husspildevand og renere teknologi
- Nr. 220: Indsamling af madaffald fra husstande i København
- Nr. 221: Byggeriets materialeforbrug
- Nr. 222: Rensning og recirkulering af industrivaskerivand
- Nr. 223: Benzin- og dieselolieforurenede grunde
- Nr. 224: Miljømæssig vurdering af mikrobiologiske plantebeskyttelsesmidler
- Nr. 225: Spildevandsrensning ved ionbytning
- Nr. 226: Organotin i danske farvande
- Nr. 227: Miljøvurdering af SEBS og PET
- Nr. 228: Miljøvurdering af EVA
- Nr. 229: Miljøvurdering af EAA OG EMA
- Nr. 230: Chromfri, kemisk forbehandling af aluminium
- Nr. 231: Vand- og stofbalance i en natureng
- Nr. 232: Renere teknologi i Hvidovre Vandforsyning
- Nr. 233: Renere teknologi i træ- og møbelbranchen i Nordjylland

Miljøprojekt

- Nr. 234: Renere teknologi i Hadsund kommune
- Nr. 235: Emission af toluen fra dybtrykte tryksager
- Nr. 236: Renere teknologi ved affedtning af aluminium
- Nr. 237: PVC-holdige produkter i den grafiske branche
- Nr. 238: Komposteringsanlæg Århus Nord
- Nr. 239: Renere teknologi i den nordjyske fiskeindustri
- Nr. 240: Evaluering af Det Nordjyske Rammeprogram for Renere Teknologi
- Nr. 241: Differentierede renovationsgebyrer
- Nr. 242: Grøn, statslig indkøbspolitik
- Nr. 243: Planteplankton - økologi
- Nr. 244: Miljøvurderinger og substitutionsovervejelser
- Nr. 245: Tilslutning af industrispildevand til kommunale renseanlæg
- Nr. 246: Ozonlagsnedbrydende stoffer - forbrug i 1992
- Nr. 247: Principper for fastsættelse af jordkvalitetskriterier
- Nr. 248: Klorparaffiner i Danmark
- Nr. 249: Emission af dioxiner fra pejse og brændeovne
- Nr. 250: Økotoxikologiske kvalitetskriterier for overfladevand
- Nr. 251: Phytoplankton - Ecology
- Nr. 252: Emballagevalg og affaldsproduktion på sygehuse
- Nr. 253: Miljørigtig projektering
- Nr. 254: Ecotoxicological Evaluation of Industrial Wastewater
- Nr. 255: Fældningskemikaliers indhold af miljøfremmede stoffer
- Nr. 256: Mikrobiologiske bekæmpelsesmidler
- Nr. 257: Produktion og miljøforhold i papirindustrien
- Nr. 258: Dyrkningsforsøg med kompost 1989-1993
- Nr. 259: Vandforbrug i fremstillingsindustrien
- Nr. 260: Industrispildevands miljøfarlighed
- Nr. 261: Ozonlagsnedbrydende stoffer - forbrug i 1993
- Nr. 262: Rensemaskine med kulbrinter
- Nr. 263: Grøn indkøbspolitik i amter og kommuner
- Nr. 264: Dagrenovation fra private husholdninger
- Nr. 265: Vægtafhængig dagrenovation - Tinglev Kommune
- Nr. 266: Blæserensning og korrosionsbeskyttelse af stålkonstruktioner
- Nr. 267: Renere teknologi i malteri-, bryggeri- og mineralvandsindustrien
- Nr. 268: Kortlægning af ressourcehåndtering i tekstil vådbehandling
- Nr. 269: Miljøbelastning fra affaldsbehandlingsanlæg
- Nr. 270: Genetisk modificerede herbicidresistente planter
- Nr. 271: Rengøringsfunktionen på sygehuse
- Nr. 272: Kliniske engangsartiklers miljøbelastning
- Nr. 273: Røntgenfunktionens miljøbelastning
- Nr. 274: Miljøfarlige kemikalier på sygehuslaboratorier
- Nr. 275: Ånære arealers samspil med vandløb
- Nr. 276: Demonstrationsejendomme for bedre udnyttelse af husdyrgødning
- Nr. 277: Genetically modified animals
- Nr. 278: Miljøfremmede stoffer i renseanlæg
- Nr. 279: Renere teknologi i Grenås industri
- Nr. 280: Bortskaffelse af elektronikprodukter
- Nr. 281: Miljøprioritering af industriprodukter
- Nr. 282: Neurotoxicology
- Nr. 283: Ammoniakfordampning fra landbruget
- Nr. 284: Indsatsområder for renere teknologi i den grafiske branche
- Nr. 285: Traffic PAH and Other Mutagens in Air in Denmark
- Nr. 286: TIC-nettets indsats for renere teknologi i mindre virksomheder
- Nr. 287: Miljøvurdering af EVOH og EVA
- Nr. 288: Miljøvurdering af LLDPE

Miljøvurdering af LLDPE

Rapporten omfatter en vurdering af de miljø- og sundhedsmæssige forhold knyttet til materialet linear low density polyethylen (LLDPE) vurderet i hele materialets livscyklus. Idet materialet LLDPE er et potentielt alternativ til PVC, er det vurderet relativt i forhold til PVC.

Pris kr. 65,- (inkl. 25% moms)

ISSN: 0105-3094

ISBN: 87-7810-328-2

Miljø- og Energiministeriet **Miljøstyrelsen**
Strandgade 29 · 1401 København K · Telefon 32 66 01 00

Miljøprojekt nr. 288

1995

Miljøvurdering af LLDPE

Plastmaterialet linear low density polyethylen

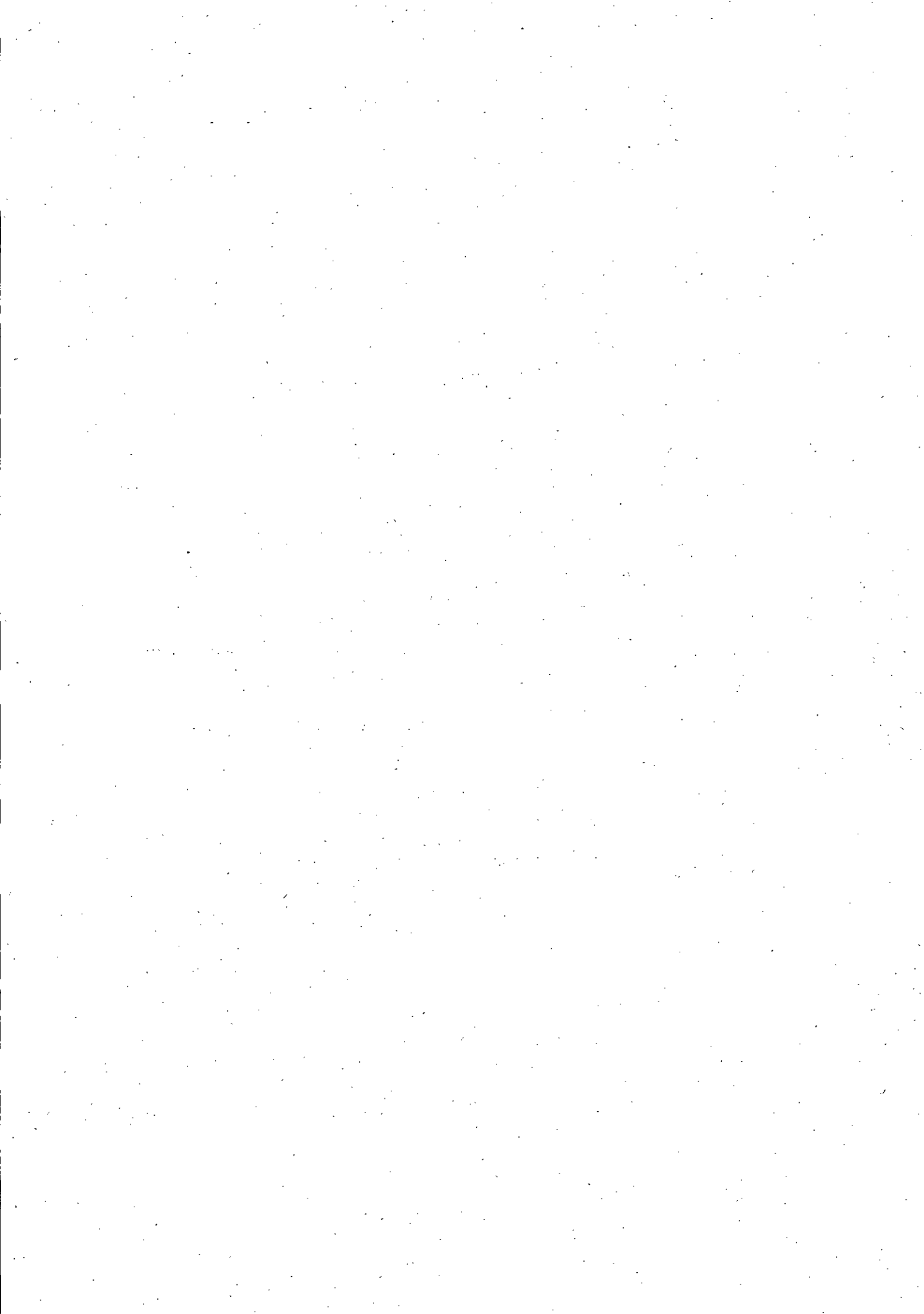
Susanne Møller
Jens Erik Jelnes
Henriette Færgemann
DTI/Miljøteknik

Rapporten er udarbejdet med tilskud fra Rådet vedrørende genanvendelse og mindre forurenende teknologi.

Det skal bemærkes, at de fremsatte synspunkter ikke nødvendigvis deles af Rådet eller Miljøstyrelsen.

Indholdsfortegnelse

	Sammenfatning og konklusion	5
1	Indledning	9
2	Fremstilling af Linear Low Density Poly Ethylene (LLDPE)	11
2.1	Introduktion til materialet	11
2.2	Råvarer	12
2.2.1	Råstofudvinding	12
2.3	Polymerisation til LLDPE	14
2.3.1	Forbehandling af råvarer	15
2.3.2	Væskefasepolymerisation	15
2.3.3	Gasfasepolymerisation	16
2.3.4	Udvinding og færdigbehandling af polymeren	16
2.4	Ressourceforbrug og emissioner	18
2.4.1	Råvareforbrug	18
2.4.2	Emissioner	19
2.5	Sundheds- og miljømæssige effekter	23
3	Forarbejdning af LLDPE og fremstilling af færdigvarer	25
3.1	Emissioner	26
3.2	Sundhedsmæssige- og miljøeffekter	26
4	Forbrug	27
4.1	Sundhed og miljø	27
5	Genanvendelse	29
6	Affaldsbortskaffelse	31
7	Litteratur	33



Sammenfatning og konklusion

Vurdering af LLDPE

Materiale vurderingen omfatter plastmaterialet Linear Low Density Polyethylen (LLDPE).

Karakterisering

De problematiske led i LLDPE's livscyklus fra fremstilling af monomeren til bortskaffelsen er:

- anvendelse og emission af flygtige organiske forbindelser ved polymeriseringsprocessen,
- afgivelse af dampe indeholdende aldehyder og en lang række andre organiske forbindelser i forbindelse med forarbejdning, hvor temperaturen kommer op på 360°C eller der over, hvor en termooxidation sker,
- i det omfang der er tilsat halogenerede brandhæmmere betyder dette en potentiel belastning med dioxiner ved forbrænding af LLDPE.

Energiforbruget ved fremstilling af LLDPE er i gennemsnit 83 MJ/kg.

Sammenligning

Sammenlignet med anvendelsen af PVC (Poly Vinyl Chlorid) vurderes LLDPE at være mindre sundheds- og miljøbelastende ved en samlet vurdering.

LLDPE indeholder ikke chlor, og ved en lang række anvendelsesområder for LLDPE vil der ikke være tilsat halogenholdige brandhæmmere. Der anvendes ikke tungmetaltholdige stabilisatorer til LLDPE som tilfældet er med PVC til en række anvendelsesformål. Disse to forhold betyder, at der ved anvendelse af LLDPE i stedet for PVC er en mindre potentiel eksponering af mennesker og miljø med tungmetaller og chlorerede forbindelser herunder dioxiner ved produktion og bortskaffelse

LLDPE er et relativt blødt materiale og velegnet til f.eks. bløde folier uden tilsætning af blødgørere, som tilfældet er for PVC, der ofte tilsættes phthalater for at opnå en tilpas blødhed.

På et område er LLDPE mere miljøbelastende end PVC: LLDPE kræver et større energiforbrug til fremstilling og forarbejdning. Polyethylenens lavere densitet kompenserer til en vis grad herfor. En del af den bundne energi genvindes dog når polyethylen bortskaffes ved forbrænding, hvor forbrændingsvarmen genvindes.

Tabel 1 Absolut vurderingsmatrice for Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)

	Proces	Ressourceforbrug (MJ/kg)	Arbejds miljø		Ydre miljø		Uheld
			Eksp. 1	Effekt	Eksp. 2	Effekt	
	Fremstilling af råmateriale	83	-	0	-	-	-
	Forarbejdning til halvfabrikata og færdigvarer	12,5	-	0	0	0	0
	Forbrug	?	0	0	0	0	0 ¹
	Genanvendelse	?	-	-	0	0	0
	Affald						
	- Forbrænding	- 42,5 ²	0	0	0	0	0
	- Deponering	?	0	-	-	-	0
	- Kompostering	?	0	-	-	-	0

- : Potentielt meget belastende
 - : Potentielt noget belastende
 0 : Potentielt ikke belastende
 ? : Mangel på viden

¹ I produkter brandhæmmet med chlorerede eller bromerede brandhæmmere er der dog mulighed for dannelse af dioxiner i forbindelse med brand.

² Der regnes med en energigevinst på 60 % af den bundne energi i materialet ved forbrænding i affaldsforbrændingsanlæg med varmegenvinding.

Tabel 2. Relativ vurderingsmatrice for LLDPE i forhold til PVC

	Proces	Ressourceforbrug	Arbejds miljø	Ydre miljø	Uheld
	Fremstilling af råmateriale	- ³	+++	+++	+
	Forarbejdning til halvfabrikata og færdigvarer	- ⁴	+	0	+
	Forbrug	0	0	0	0
	Genanvendelse	?	0	+	0
	Affald				
	- Forbrænding	+	?	+++	+
	- Deponering	0	0	+	0
	- Kompostering	0	0	+	0

- +++ : Meget bedre end PVC
- + : Bedre end PVC
- 0 : Samme som PVC
- : Værre end PVC
- : Meget værre end PVC
- ? : Mangel på viden

³ Til fremstillingen af PVC regnes med et energiforbrug på 60 MJ/kg (3).

⁴ Der regnes med et energiforbrug i gennemsnit til forarbejdning på 15 % hvilket vil sige 9 MJ/kg for PVC.

1 Indledning

Afdelingen for Miljøteknik ved Dansk Teknologisk Institut har med støtte fra Rådet vedrørende genanvendelse og mindre forurenende teknologier gennemført en miljøvurdering af plastmaterialet Linear Low Density Polyethylen (LLDPE) som et muligt alternativ til PVC. Vurderingen er afsluttet i september 1993. Miljøvurderingen er foretaget efter de samme retningslinier som i rapporten "Miljøvurdering af PVC og udvalgte alternative materialer" (Miljørapport nr. 131). Det metodemæssige grundlag for rapporten er fyldestgørende beskrevet i Miljørapport nr. 131, men resumeres kort her.

Vurderingen er baseret på en livscyklusanalyse og -vurdering. Dette betyder, at der i vurderingen inddrages både kvantitative (energi- og råvareforbrug) og kvalitative (potentielle miljø- og sundhedsproblemer) elementer.

En miljøvurdering omfatter i dette projekt en gennemgang af materialets livscyklus omfattende:

- fremstilling af råmaterialer,
- forarbejdning af råvaren og produktion af færdigvarer,
- forbrug,
- genanvendelse og
- affaldsbortskaffelse,

hvor sidstnævnte opdeles på forbrænding, kompostering og deponering.

I forhold til andre forslag til livscyklus mangler den her anvendte en selvstændig vurdering af distribution placeret mellem produktion af færdigvarer og forbrug. Transport indgår i vurderingerne på de øvrige trin i det omfang, der foreligger data. Af specielt relevans er energiforbrug og uheld ved transport.

På hvert trin i livscyklus diskuteres en række miljømæssige elementer:

- Energiforbrug og emissioner
- Ressourceforbrug
- Eksponering i arbejdsmiljøet
- Sundhedseffekter
- Eksponering i det ydre miljø
- Miljøeffekter
- Uheld (især forhold ved brand)

Resultatet af denne vurdering anskueliggøres for de enkelte materialer i en specifik matrix og i en relativ matrix, hvor det alternativt materiale sammenlignes med PVC. I de enkelte felter i den specifikke matrix anføres,

om der er tale om et meget belastende forhold, et belastende forhold, ingen belastning eller manglende viden. Tilsvarende angives i den relative matrix, om der er tale om forhold, der trinvis gradueres fra meget bedre til meget værre end PVC.

Tidligere undersøgelser

LLDPE er tidligere vurderet sammen med de øvrige polyethylen typer i (3). Siden denne undersøgelse har The European Centre for Plastics in the Environment (PWMI), en miljøafdeling under Association of Plastic Manufacturers in Europe (APME), kortlagt forbrug af energi og råvarer samt emissioner og affaldsproduktion ved produktion af polyethylen i Europa (1) (2).

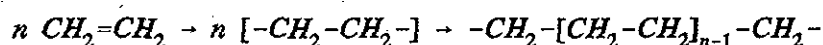
Undersøgelsen omfatter 36 europæiske ethylenpolymerisations fabrikker, der tilsammen producerer 4,5 millioner ton polyethylen per år af alle typer. Ud af disse producerer 10 fabrikker 1,3 millioner ton HDPE, svarende til ca. 29% af den samlede produktion, 22 fabrikker producerer 2,8 millioner ton LDPE, svarende til ca. 62% af den samlede produktion og de resterende 4 fabrikker producerer 359.000 ton LLDPE svarende til ca. 8% af den samlede produktion (1).

2 Fremstilling af Linear Low Density Poly Ethylene (LLDPE)

2.1 Introduktion til materialet

Polyethylen er en af de kemisk mest simple polymerer, der dannes ved at en dobbeltbinding i et ethylenmolekyle åbnes, således at et tilstødende molekyle kan fastgøres, hvorved de to monomerer bindes sammen.

Principielt foregår polymerisationen efter følgende reaktionsmønster:



Polymeren kan afhængig af reaktionsbetingelserne blive fuldstændig lineær eller med et stort antal sidegrene.

Længden og frekvensen af sidekæder er bestemmende for polymerens egenskaber, idet lineære polymerer og polymerer med få eller meget korte sidekæder vil kunne pakkes således at der opnås en polyethylen polymer med høj densitet (HDPE). Tilsvarende vil lange eller mange sidekæder forhindre en tæt molekylepakning således at der opnås en amorf polymer med lav densitet (LDPE).

De kommercielt tilgængelige polyethylener kan inddeles i tre forskellige kategorier, LDPE og HDPE som beskrevet ovenfor samt LLDPE, der indeholder et stort antal meget korte sidekæder, således at polymeren får en struktur, der gør den stærk overfor mekaniske påvirkninger.

I tabel 3 ses en oversigt over de reaktionsbetingelser, der skal anvendes ved produktion af de forskellige polyethylenforbindelser:

Tabel 3 Reaktionsbetingelser ved fremstilling af polyethylener

Polymer	Tryk	Katalysator	Comonomer
LDPE	Højt	-	-
HDPE	Lavt	+	-
LLDPE	Lavt	+	+

I denne rapport vurderes miljøforholdene ved råstofudvinding, produktion, forbrug og bortskaffelse af LLDPE.

En generel oversigt over LLDPE polymerens fysiske egenskaber fremgår af tabel 4:

Tabel 4 Fysiske egenskaber for LLDPE (5)

	Enhed	LLDPE
Massefylde	g/cm ³	0,91-0,94
Smelteindex	g/10min	0,13-1,2*
Forlængelse	%	600-800
Krystallinsk smeltepunkt	°C	120
Hårdhed	-	58

* Massefylde 0,926 g/cm³ hhv. 0,922 g/cm³

LLDPE har generelt højere smeltepunkt, større mekanisk styrke samt bedre elastiske egenskaber end lavtrykspolymeriseret LDPE med samme smelteindex og densitet. Desuden udviser LLDPE en højere viskositet som formindskes langsommere ved øget forskydningsspænding (5).

Ved forarbejdning opfører LLDPE polymerer sig generelt som om de har langt højere viskositet end tilsvarende LDPE polymerer, hvilket skyldes fraværet af lange sidekæder i LLDPE polymeren (5).

2.2 Råvarer

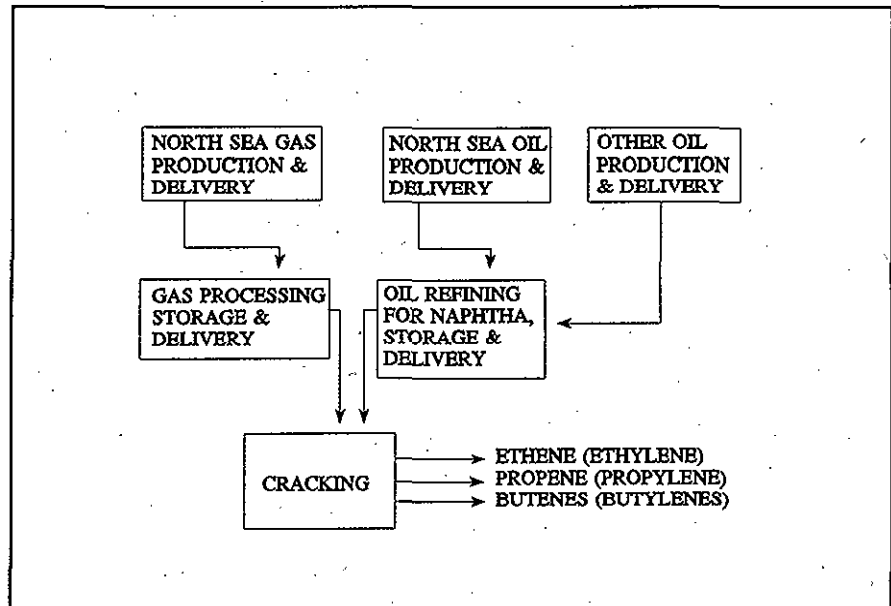
Som basis for fremstilling af LLDPE anvendes ethylen samt en comonomer som f.eks. kan være en lavere alken som 1-buten, 1-hexen eller 1-octen. De primære kilder til produktion af ethylen såvel som øvrige monomerer er råolie og naturgas.

I det følgende beskrives de processer, som er forbundet med udvinding af disse råmaterialer, transport af materialerne til Europa samt raffinering og cracking af materialerne til ethylen.

En oversigt over fremstillingsprocesserne ses i nedenstående figur 1.

2.2.1 Råstofudvinding

En stor del af de råstoffer, der anvendes til produktion af ethylen i Nord-europa udvindes fra olie- og naturgasfelterne i Nordsøen. I 1990 udgjorde olie fra Nordsøen således ca. 15% af det samlede forbrug, mens den tilsvarende procentdel for naturgas udgjorde ca. 78% (2).



Figur 1 Fremstilling af olefiner ud fra naturgas og råolie (2)

Naturgas

Naturgas er en blanding af lavmolekylære, sædvanligvis mættede hydrocarboner blandet med ikke-brændbare gasser som kvælstof og kuldioxid. Sammensætningen og dermed brændværdien af naturgassen varierer meget som funktion af udvindingsstedet, f.eks. refererer (2) brændværdier varierende mellem 30 og 48 MJ/m³ og anvender en værdi på 38,8 MJ/m³ som gennemsnitsværdi.

Råolie

Molekylvægten for hydrocarbonerne i råolie er langt højere end for naturgas. Råolie indeholder desuden en del opløst naturgas, der frigives ved forarbejdningen af råolien.

Variationerne i sammensætningen af råolie betyder, ligesom for naturgas, at brændværdierne for olien varierer markant. I (2) er anvendt en gennemsnitlig brændværdi for råolie på 45 MJ/kg.

Raffinering

Ved raffineringsprocessen destilleres råolien i en række fraktioner, der hver især er en blanding af hydrocarboner med et snævrere interval for molekylvægten.

Fraktionerne består primært af mættede hydrocarboner, der ikke er særlig reaktive.

Raffineringsprocessen anvendes ligeledes til at fjerne uønskede urenheder såsom svovl samt til at udvinde metaller, der kan sælges som biprodukter, fra råolien (2).

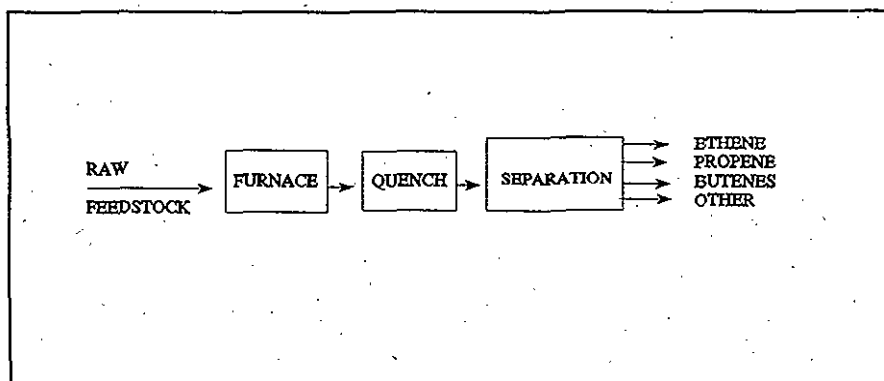
Cracking

Crackingprocessen er den første i en række processer, hvor de mættede forbindelser omdannes til forbindelser, der er egnede som råmateriale ved polymerisationsprocesserne.

Crackeren udfører principielt to funktioner, nemlig en reduktion af kompleksiteten af den behandlede fraktion samt en omdannelse af hydrocarbo-

nerne til umættede forbindelser, der er mere reaktive end de mættede forbindelser (2).

I praksis består crackingprocessen af tre trin som vist i figur 2.



Figur 2 De principielle operationer i crackingprocessen (2)

Selvom disse tre processer, der fremgår af figur 2, er adskilte optræder de i praksis som en enkelt enhed, således at det kun er muligt at fremskaffe oplysninger om det overordnede system.

Indledningsvist føres råmaterialet, der kan være nafta fra olieraffineri, naturgas eller en blanding af disse til en forbrændingsovn, hvor der opretholdes en høj temperatur under hele processen. Herefter køles produktet for at undgå yderligere reaktion, og der indledes en separation af de enkelte hydrocarboner i fraktioner.

De principielle produkter fra forbrændingsovnen er ethylen, propylen og en blanding af buten isomerer samt sædvanligvis en del hydrogen og øvrige hydrocarboner.

Efter crackingprocessen renses produkterne yderligere ved en række processer, hvorefter de er egnede som råmateriale for polymerisationsprocesserne.

2.3 Polymerisation til LLDPE

LLDPE fremstilles ligesom HDPE (High Density Poly Ethylen) ved lavtrykspolymerisation (2-8 MPa). Men i modsætning til HDPE, der fremstilles udfra ethylen, fremstilles LLDPE ved en copolymerisering mellem ethylen og en højere alken med dobbeltbindingen i 1 position for derved at kontrollere antallet og længden af sidekæder. Polymerisationen kan ske ved såvel væske- som gasfasereaktioner (5).

Fremstillingsprocessen omfatter, for både væske- og gasfasereaktioner, fire trin: forbehandling af råvarer, polymerisation, udvinding af polymer og færdigbehandling.

2.3.1 Forbehandling af råvarer

De råvarer, der anvendes i polymerisationsprocessen, skal være fri for urenheder såsom vand, svovlforbindelser, acetylen og o.l. idet disse forbindelser kan hæmme katalysatorernes effekt (5).

Der anvendes derfor oftest ethylen af så høj renhed, at der kun kræves tørring og molekylærsigtning som forbehandling. Såfremt der ikke kan skaffes ethylen af tilstrækkelig høj renhed kan det være nødvendigt at foretage yderligere rensning af monomeren. Denne kan f.eks. bestå i hydrogenering, der fjerner acetylen og uønskede olefiner, reduktion af kulmonoxid og fjernelse af svovl (5).

De øvrige råmaterialer såsom comonomerer, opløsningsmidler og katalysatoropløsninger renses ved gennemluftning, destillation eller sigtning (5).

2.3.2 Væskefasepolymerisation

Ved væskefasereaktionerne tilsættes ethylen til et opløsningsmiddel som f.eks. hexan eller cyclohexan sammen med en comonomer, der f.eks. kan være 1-buten, 1-hexen eller 1-octen. Som katalysatorer anvendes f.eks. chrom-, organometal-titankatalysatorer eller kombinationer af titantetrachlorid og vanadiumoxychlorid (5).

Væskefasereaktionerne opdeles i oplæmnings- og opløsningspolymerisationer.

Oplæmningspolymerisation

Ved oplæmningspolymerisation indføres monomeren, comonomeren, en let kulbrintebrændstof samt katalysatoren kontinuerligt i en reaktor, hvor polymeren dannes og forefindes opløst i et væske bestående af en let kulbrintebrændstof.

Reaktorindholdet cirkuleres kontinuerligt med en pumpe for at undgå, at polymeren aflejres på kanten af reaktoren.

Ved væskefasepolymerisation i hexan indføres monomeren, comonomeren og katalysatoren i en serie af reaktorer og opløsningen pumpes mellem de forskellige reaktorer for at opnå en passende opholdstid.

Herefter ledes opløsningen til en centrifuge hvor størstedelen af hexanen udskilles og recirkuleres. Polymeren strippes for hexan med damp, hvorefter den tørres, stabiliseres og granuleres (5).

Opløsningspolymerisation

I (5) gives et eksempel på en opløsningspolymerisationsproces, der er baseret på kontinuert polymerisation af ethylen med 1-okten i cyclohexan ved en temperatur på ca. 250 °C og et relativt højt tryk på ca. 8 MPa. Ved denne proces anvendes en katalysator bestående af tributylaluminium, titaniumtetrachlorid og vanadiumoxychlorid.

Denne proces kræver meget kort opholdstid pga. katalysatorens høje effektivitet ved den høje temperatur.

Efter polymerisationen deaktiveres katalysatoren med en alkohol eller en kompleksdanner såsom acetylacetone (5).

2.3.3 Gasfasepolymerisation

Gasfasereaktionerne foregår i fluid-bed reaktorer, hvor polymerisationen sker på overfladen af eller inde i polyethylen partikler i polymerisationsreaktoren.

Monomeren og comonomeren tilføres reaktoren i stort overskud, således at der opstår turbulente strømninger, hvorved varmeovergangen forøges. I reaktoren sikres en ensartet fordeling af monomeren i reaktoren (5).

Reaktionsgraden for ethylen er generelt meget lille (ca. 2%) og det er således nødvendigt at recirkulere fødestrømmen op til 50 gange for at opnå en tilstrækkelig høj omdannelsesgrad (5).

Der anvendes oftest chromoxidkatalysatorer modificeret med titan og fluorid (3).

2.3.4 Udvinning og færdigbehandling af polymeren

Efter polymerisationen transporteres reaktorindholdet igennem et fordampningskammer, hvor den lette kulbrintebrændstof fraktion fordamper, således at der opnås et halvtørt polymerisat på pulverform.

Dette pulver tørres yderligere og transporteres herefter pneumatisk til færdigbehandlingsprocesserne, hvor der tilsættes additiver og stabilisatorer.

Additiver

Herefter ekstruderes polymeren gennem en række små dyser og skæres til granulat. Granulatet vaskes med vand, afvandes ved rystning og tørres for at fjerne resterende vand på overfladen af partiklerne.

Den færdige polymer kan herefter pakkes og afsendes.

Den fordampede kulbrintebrændstof kondenseres og renses, hvorefter den recirkuleres. Udnyttelsesgraden af ethylen er så høj at der kun er basis for at udvinde ethylen fra affaldsstrømmene i meget store anlæg (5).

Færdiggørelsesprocesserne er generelt meget energikrævende. I (5) vurderes det, at en færdiggørelseslinie med kapacitet til 15 ton pr. time kræver en energimængde på 3 MW elektrisk energi ved en ekstruderingsstemperatur på 260°C.

Anvendelsen af additiver afhænger af slutproduktet snarere end af polymertypen. De vigtigste additiver, der anvendes i polyethylen er UV- og varmestabilisatorer, antioxidant, brandhæmmere, antiblokmidler, slip- og antislipmidler, pigmenter, opskumningsmidler og fyldstoffer.

Stabilisatorer & antioxidant

Til hindring af UV- og varmenedbrydning samt oxidation af LLDPE under forarbejdningen eller ved brug tilsættes stabilisatorer (13). Til LLDPE anbefales stabilisatorsystemer svarende til dem, der anbefales til brug for polypropylen blot i mindre koncentrationer. Stabilisatorsystemer-

ne består ifølge (13) af: processtabilisatorer (organisk posphit), langtids varmemestabilisatorer (phenolderivater med medium og især med højt molekylvægt normalt benyttet sammen med thioestre) og calcium- eller zinkstearat. Typiske processtabilisatorer er (13):

- 2,6-di(t-butyl)-p-cresol (BHT)
- tetrakis[2,4-di(t-butyl)phenyl]-4,4-biphenyldiphosphonit
- distearyl-pentaerythrityldiphosphit
- tris(nonylphenyl)phosphit
- tris[2,4-di(t-butyl)phenyl]phosphit og
- tris[2,4-di(t-butyl)phenyl]pentaerythrityldiphosphit

Typiske langtids varme stabilisatorer er (13):

- octadecyl 3-(3,5-ditert-butyl-4-hydroxyphenyl)-propionat
- pentaerythrityl tetrakis-3-(3,5-ditert-butyl-4-hydroxyphenyl)-propionat
- 1,3,5-tris-(3,5-ditert-butyl-4-hydroxybenzyl)-isocyanurat
- 1,1,3-tris-(5-tert-butyl-4-hydroxy-2-methylphenyl)-butan
- 1,3,5-tris-(3,5-ditert-butyl-4-hydroxybenzyl)-mesitylen
- ethylenglycol bis-[3,3-bis-(3'-tert-butyl-4'-hydroxyphenyl)-butyrat]

Disse additiver anvendes i koncentrationer mellem 0,03% og 0,10% i LLDPE (13).

Brandhæmmere

Da polyethylen er brandnærende anvendes brandhæmmere, hvor det er påkrævet i forhold til anvendelsen. I Europa fordeler forbruget af brandhæmmere sig på følgende typer (3):

- bromerede forbindelser
- chlorerede paraffiner
- andre chlorerede forbindelser
- phosphorsyreestere
- antimontrioxid og
- aluminiumhydroxid

Det samlede indhold af brandhæmmere kan være op til 40 vægt% (3).

Det er vist, at bromerede brandhæmmere pga. ringe stabilitet omdannes til bromerede dioxiner under forarbejdningen ved høje temperaturer. Det må formodes, at de forbliver i polymeren og vil frigives på et senere tidspunkt (3).

Fyldstoffer

Der kan anvendes op til 40 vægt% fyldstoffer i polyolefiner dels som deciderede fyldstoffer, dels som forstærkningsstoffer afhængig af anvendelsesformålet. Disse er f.eks. (4):

- calciumcarbonat
- talkum
- carbon black
- silicat
- wollastonit

- aluminiumhydroxid
- savsmuld
- tungmetalpulver (blypulver) og
- zinkoxid

Som eksempel på tungmetalpulver kan nævnes, at blypulver anvendes i tilfælde, hvor der kræves beskyttelse mod radioaktiv stråling. Savsmuld anvendes til at forøge den akustiske dæmpning.

Pigmenter

Til indfarvning af polyethylen anvendes primært en række uorganiske pigmenter (3):

Hvid	titandioxid, stabiliseret
Gul	cadmium, zinksulfid titan, nikkel, antimonoxid, titan, chrom (VI), antimonoxid
Rød	cadmiumsulfid, selenid
Blå	natrium, aluminiumsilicat, sulfid, cobalt, aluminiumoxid
Grøn	cobalt, nikkel, zink, titan, aluminiumoxid, chrom (III) oxid
Brun	jern (II, III) oxid, chrom (VI) jern (III) oxid
Sort	carbon black

Anvendelsesforbudet fra 1987 har medført, at kun specielle produkter efter dispensation kan indfarves med cadmium.

2.4 Ressourceforbrug og emissioner

Den ovenfor beskrevne fremstillingsproces for LLDPE er baseret på anvendelsen af ethylen samt en anden alken som råmateriale.

Ved denne miljøvurdering ønskes det imidlertid at vurdere den samlede miljøpåvirkning af materialet i hele livscyklus, således at der anvendes data fra (1), der omfatter miljøpåvirkningerne fra udvinding af råmaterialerne til polymerisationen.

2.4.1 Råvareforbrug

I (1) er råvareforbruget til produktion af LLDPE opdelt i forbrug af energikilder og forbrug af øvrige råvarer. Energiforbruget er underinddelt i den del af den totale energimængde, der bindes i produktet, kaldet råmateriale i gennemsnit på 70,80 MJ/kg for LLDPE og den del, som anvendes til drift af produktionsudstyret kaldet brændsel i gennemsnit på 12,18 MJ/kg.

Af tabel 5 fremgår gennemsnitsdata for energiforbruget til produktion af 1 kg LLDPE, kumuleret fra råstofudvindingsfasen til polymerisationsprocessen.

De anvendte data i energiberegningen repræsenterer et vægtet gennemsnit for samtlige LLDPE-producerende fabrikker i undersøgelsen, og da der er

Tabel 5 *Energiforbrug til produktion af 1 kg LLDPE ud fra råolie eller naturgas (MJ) (1).*

Brændstof	Kul	0,77
	Olie	1,15
	Gas	8,80
	Vand	0,13
	Kernekraft	1,32
	Øvrige	0,01
	Total	12,18
Råmateriale	Kul	<0,01
	Olie	21,24
	Gas	49,55
	Total	70,80
Total	Brændstof og råmateriale	82,98

stor variation imellem fabrikkerne i såvel produktionsmetode og valg af råvarer som transport og lignende dækker den gennemsnitlige værdi for det totale energiforbrug på ca. 83 MJ/kg over et interval fra 73-104 MJ/kg (1).

Det bemærkes, at forholdet mellem energiforbruget til brændstof og som råmateriale er usikkert, idet affald fra produktionen af hydrocarboner ofte indgår som brændsel, således at brændselsforbruget reelt er højere end angivet.

Ud over energiforbruget opdelt i brændstof og råvarer forbruges der en række mineralske forbindelser samt store mængder vand ved fremstillingen af LLDPE.

I tabel 6 ses gennemsnitsdata for forbruget af øvrige råvarer til produktion af 1 kg LLDPE, kumuleret fra råstofudvindingsfasen til polymerisationsprocessen (1).

2.4.2 Emissioner

Ud over forbruget af energi og øvrige råmaterialer giver (1) ligeledes en række data for emissioner fra produktionen til luft og vand samt som fast affald.

Tabel 6 Forbrug af øvrige råmaterialer ved produktion af 1 kg LLDPE udfra råolie eller naturgas (mg) (1).

Råmateriale	Mængde (mg)/kg
Jernmalm	130
Kalksten	90
Vand	4100000
Bauxit	150
Natriumklorid	7900
Ler	10
Jernmangan	<1

Det bemærkes, at nøjagtigheden af dataene varierer meget, idet der generelt findes relativt nøjagtige informationer om de emissioner, der anses for at have stor effekt på miljøet og som derfor er reguleret fra offentlig side. Derimod er dataene for de ikke regulerede emissioner ofte estimeret.

I tabel 7 ses gennemsnitsdata for emissioner til luft ved produktion af 1 kg LLDPE, kumuleret fra råstofudvindingsfasen til polymerisationsprocessen (1).

Tabel 7 Emissioner til luft ved produktion af 1 kg LLDPE ud fra råolie eller naturgas (mg) (1).

Emission	Mængde (mg)/kg
Støv	1100
Carbonmonoxid	700
Carbondioxid	610000
Svovloxider	2700
Hydrogensulfid	2
Nitrogenoxider	7900
Hydrogenchlorid	20
Hydrogenflourid	1
Hydrocarboner	14000
Andre organiske forb.	1
Metaller	1
Hydrogen	1

I tabel 8 ses gennemsnitsdata for emissioner til vand ved produktion af 1 kg LLDPE, kumuleret fra råstofudvindingsfasen til polymerisationsprocessen (1).

Tabel 8 Emissioner til vand ved produktion af 1 kg LLDPE udfra råolie eller naturgas (mg) (1)

Emission	Mængde (mg)/kg
COD	300
BOD	10
Syre (H ⁺)	40
Metaller	700
Ammoniumioner	1
Chloridioner	190
Opl. org. materiale	10
Suspenderet materiale	100
Olie	40
Hydrocarboner	130
Opl. faste stoffer	920
Fosfat	10
Øvrige nitrogenforbindelser	10

Affaldsproduktion

Ved produktion af 1 kg LLDPE vil der i gennemsnit dannes 10,55 gram fast affald svarende til 1 % (1). I tabel 9 ses gennemsnitsdata for produktionen af fast affald ved produktion af 1 kg LLDPE, kumuleret fra råstofvindingsfasen til polymerisationsprocessen (1).

Tabel 9 Produktion af fast affald ved produktion af 1 kg LLDPE udfra råolie eller naturgas (mg) (1).

Affaldstype	Mængde (mg)/kg
Industriaffald	1700
Mineralsk affald	6000
Slagge & aske	2400
Andet affald	450

2.5 Sundheds- og miljømæssige effekter

Eksposering

Ved denne fremstilling vil der være risiko for eksposering for lavere kogende alkaner, der bruges til fremstilling af ethylen, og 1-alkener som fx ethylen, propylen, 1-buten, 1-hexen og 1-octen samt hexan og cyclohexan, der bruges ved fremstillingen af LLDPE.

Ud fra den generelle beskrivelse af processerne foregår der i høj grad genindvinding af disse stoffer, da de kan genbruges ved nye produktioner. Det må derfor antages, at eksposeringen generelt er lav.

Der vil være en gennemsnitlig udledning på 610 mg CO₂, 2,7 mg SO₂, 7,9 mg NO_x og 14 mg hydrocarboner pr kg produceret LLDPE (1).

Sundhed

Lavere kogende alkaner og 1-alkener er generelt set ikke særligt human-toksiske. Den væsentligste effekt ved disse stoffer er en narkotisk effekt, der optræder ved høje luftkoncentrationer af stofferne. At stofferne ikke er særligt toksiske kan også udledes deraf, at de ikke har nogen grænseværdi i arbejdsmiljøet, selv om fx ethylen og propylen bruges i store mængder.

n-Hexan er en væske med kogepunkt på 69°C. Den væsentligste effekt af stoffet er, at det kan give irreversible skader på specielt det perifere nervesystem (6). I arbejdsmiljøet gælder der en grænseværdi på 50 ppm (7).

Miljø

De lavere kogende alkaner og 1-alkener vil i størst udstrækning nå det ydre miljø som luftforurening. Man kan antage, at disse forbindelser i kombination med UV-stråling kan føre til dannelse af frie radikaler, peroxider, aldehyder og ketoner, og dermed medvirke til forøgelse af koncentrationen af troposfærisk ozon.

*Fremstilling af
færdigt granulat*

Ved fremstilling af færdigt granulat tilsættes det rå granulat stabilisatorer, brandhæmmere, fyldstoffer, slipmidler mm. Hvilke typer stoffer, der anvendes, vil afhænge af det formål, hvortil LLDPE granulatet skal bruges. Hvilke stoffer, der bruges i de aktuelle situationer, er ofte produktionshemmeligheder.

Eksposering

Eksposeringen ved produktion af færdigt granulat må formodes at være lille, da man i stor udstrækning anvender lukkede systemer til blanding af færdigt granulat. Dermed har man mindsket risikoen for støveksposering.

Sundhed og miljø

Da der kun er tale om lille støveksposering, og der ikke forventes at forekomme dampe i noget omfang, vil effekterne på sundhed og miljø være ringe.

3 Forarbejdning af LLDPE og fremstilling af færdigvarer

LLDPE leveres som granulat med additiver. Det forarbejdes ved 160-260°C (4).

LLDPE forarbejdes efter de samme principper som de øvrige polyetylen-typer og de vigtigste processer er:

- Ekstrudering: Folie, plader, profiler.
- Støbning: Rotations- og sprøjtestøbning.
- Termoformning (af plader).

Her gives en kort oversigt over de tre hovedtyper. En mere detaljeret gennemgang kan blandt andet fås fra (4) eller (3).

Ekstrudering

Plasten smeltes, og ved hjælp af et enkelt- eller dobbelt-snekke system presses den flydende plast gennem en dyse, hvorpå der er monteret forskellige former for formværktøj. Produktet fås som profiler, folier, plader eller f.eks. rør, der videreforarbejdes til flasker.

Rør ekstruderes ved ca. 175°C (5). LLDPE har et højere smeltepunkt end f.eks. LDPE og kræver således 35-40°C højere procestemperatur. Gennemsnitligt forarbejdes LDPE ved ca. 200°C. Den større styrke og sejhed i materialet gør det til gengæld muligt at bruge 20-25 % mindre materiale end ved f.eks. LDPE (5).

Støbning

Ved støbning sprøjtes den flydende plast ud i en opvarmet form ved hjælp af et snekkesystem. Når formen er fyldt afkøles den og emnet tages ud. Eventuelt er en afgratning eller tilskæring nødvendig.

Ved støbning af meget store emner, op til 10 m³, benyttes en roterende form, der roterer om to akser (5).

Termoformning

Ved termoformning videreforarbejdes plader ved opvarmning, hvorefter de presses ud i en form. Efter afkøling er emnet færdigt og kan tages ud af formen.

Svejsning

Folier kan sammenføjes ved benyttelse af varmsvejsning hvor et opvarmet værktøj blødgør folien tilstrækkeligt til at de to foliedele flyder sammen.

Energiforbrug

Som en tommelfingerregel regnes med at der til forarbejdning af plastmaterialer anvendes 15 % af produktionsenergien til forarbejdning, hvilket svarer til 12,5 MJ/kg for LLDPE. Den korrekte værdi kan for de enkelte processer ligge over eller under denne gennemsnitsværdi.

3.1 Emissioner

Eksposering

Ved denne forarbejdning vil der ske en opvarmning af granulatet til 160-260°C, inden det formès til færdig brug. Der kan yderligere forekomme lokal opvarmning ved sammensvejsning af flere lag folie. Der er ved disse processer mulighed for afgivelse af dampe fra granulatet. Ved opvarmning til over 360°C kan der yderligere forekomme termooxidation med udvikling af aldehyder som fx formaldehyd og acetaldehyd (8). Der er ved termooxidation af PE identificeret ialt 44 forbindelser fordelt på 10 hovedtyper af organiske forbindelser (9).

3.2 Sundhedsmæssige- og miljøeffekter

Sundhed

Eksposering for aldehyder som fx. formaldehyd og acetaldehyd kan give anledning til luftvejsirriterende effekter. Således har (10) rapporteret symptomer som betændelse i øjne, næse irritation, nysen, hovedpine, tør hals, kvalme, hoste og åndenød hos arbejdere, der producerede poser af polyethylen. Yderligere er både formaldehyd og acetaldehyd kræftfremkaldende (7) og har grænseværdier i arbejdsmiljøet i Danmark på henholdsvis 0,3 ppm og 25 ppm.

Miljø

Der er ikke fremkommet oplysninger om miljøeffekter ved forarbejdning af LLDPE. De nævnte emissioner af støv og dampe er i en størrelsesordenen, hvor der ikke kan forventes effekter i det ydre miljø.

4 Forbrug

Eksposering

Ved brug af det færdige produkt ved stuetemperatur vil der ikke forekomme væsentlige eksponeringer, da der kun meget vanskeligt kan frigives stoffer til omgivelserne.

Brand

Ved fuldstændig forbrænding omdannes polyethylen og polypropylen til carbondioxid og vand med svag røgdannelse. Selvantændelsestemperaturen er 350°C og antændelsestemperaturen er 340°C.

Ved brand i bygninger vil polyethylen være brandnærende, og som det ofte er tilfældet ved bygningsbrand vil forbrændingen ikke være fuldstændig. Der vil derfor udover carbondioxid og vand dannes carbonmonoxid og kraftig røg, samt polycyklisk aromatiske hydrocarboner (12).

4.1 Sundhed og miljø

Da der ingen væsentlig eksponering er forventes der ikke sundheds- eller miljøeffekter i denne fase.

5 Genanvendelse

Der foregår en genanvendelse af såvel produktionsaffald som af brugt plast.

Ved genbrug af produktionsaffald foretages en omsmelting og ekstrudering til granulat, som herefter det kan indgå i processen igen.

Genbrug af brugt plast foregår på en dansk virksomhed, der genanvender polyethylenfolie, der bl.a. har været anvendt til landbrugsformål dvs. af-dækning af jord. Det brugte folie indsamles hos landmænd i sammenrullet form og fri for jord. Processen består af følgende trin (3):

- Forbehandling af folie,
- findeling,
- opbevaring i siloer,
- vask og sortering,
- ekstrudering og granulering samt
- produktkontrol.

Regeneratet anvendes bl.a. til fremstilling af landbrugsfolie og affaldssække.

Emissioner

Processen giver anledning til produktion af en del spildevand, der indeholder sand og jord samt i mindre grad papirfibre og limrester (3). Ved indsamling og genanvendelse af plast er der mulighed for støveksposering, ligesom der på overfladen af LLPDE kan forekomme vækst af mikroorganismer (11).

Sundhed

Rent LLPDE støv kan have en irriterende effekt på slimhinder og luftveje.

Hvor der forekommer støv indeholdende mikroorganismer, er der risiko for forekomst af luftvejsirritation og i sjældnere tilfælde allergi.

Miljø

Det forventes ikke, at mindre mængder LLDPE støv vil have nogen effekt på miljøet.

6 Affaldsbortskaffelse

Affaldsforbrænding

LLDPE vil som de øvrige polyethylentyper omdannes til carbondioxid og vand ved en fuldstændig forbrænding. I praksis fås også carbonmonoxid, sod og polycycliske aromatiske hydrocarboner (PAH) i mindre omfang (12). Ved en ufuldstændig forbrænding vil der kunne dannes lavmolekylære forbindelser.

De anvendte additiver er hovedsageligt organiske. Pigmenterne kan f.eks. være organiske eller uorganiske salte af mindre farlige metaller, og de vil derfor give mindre problemer i affaldsforbrændingen. Der vil forekomme tilfælde, hvor LLDPE vil være indfarvet med bly- og cadmiumholdige pigmenter, og de vil i disse tilfælde give anledning til emission af de pågældende tungmetaller f.eks. ved afbrænding af rørrester fra nedlæggelsen af naturgasrør.

Produkter, der indeholder brandhæmmere, vil derudover give anledning til emission af hydrogenbromid og -chlorid samt aluminiumoxider, phosphoroxider, antimonoxider og forskellige antimon-oxygen-halogen-forbindelser. Hvis der er brugt chlor eller bromholdige brandhæmmere kan der udvikles HCl, HBr og evt. dioxiner. Brandhæmmere anvendes dog i relativt få produkter (12), hvorfor de ikke skulle udgøre et større problem. Fyldstofferne er relativt inerte og vil ende i askefraktionen, hvorfor de ikke udgør et større problem.

I plast er bundet energi, som kan udnyttes i forbindelse med affaldsforbrænding. For LLDPE er der bundet ca. 70,8 MJ/kg, der giver en energigenvinding på 42,5 MJ/kg hvis der regnes med en 60 % udnyttelse af den bundne værdi.

Deponering

LLDPE forventes at være vanskeligt bionedbrydeligt. Der foreligger ikke specifikke oplysninger om, hvor lang tid det vil tage før plasten er nedbrudt ved deponering. Plasten vil således fylde op på depotet i lang tid. Der anvendes ikke eller kun en ringe mængde tungmetaller i PE, og de øvrige additiver antages ikke at udgøre et problem, hvis de frigives fra plasten.

Kompostering

LLDPE egner sig ikke til kompostering på grund af den ringe bionedbrydelighed. I det omfang plasten ender i komposten, udgøre et æstetisk problem. Det vil nedbrydes over en årrække, og de anvendte additiver vil derved frigives.

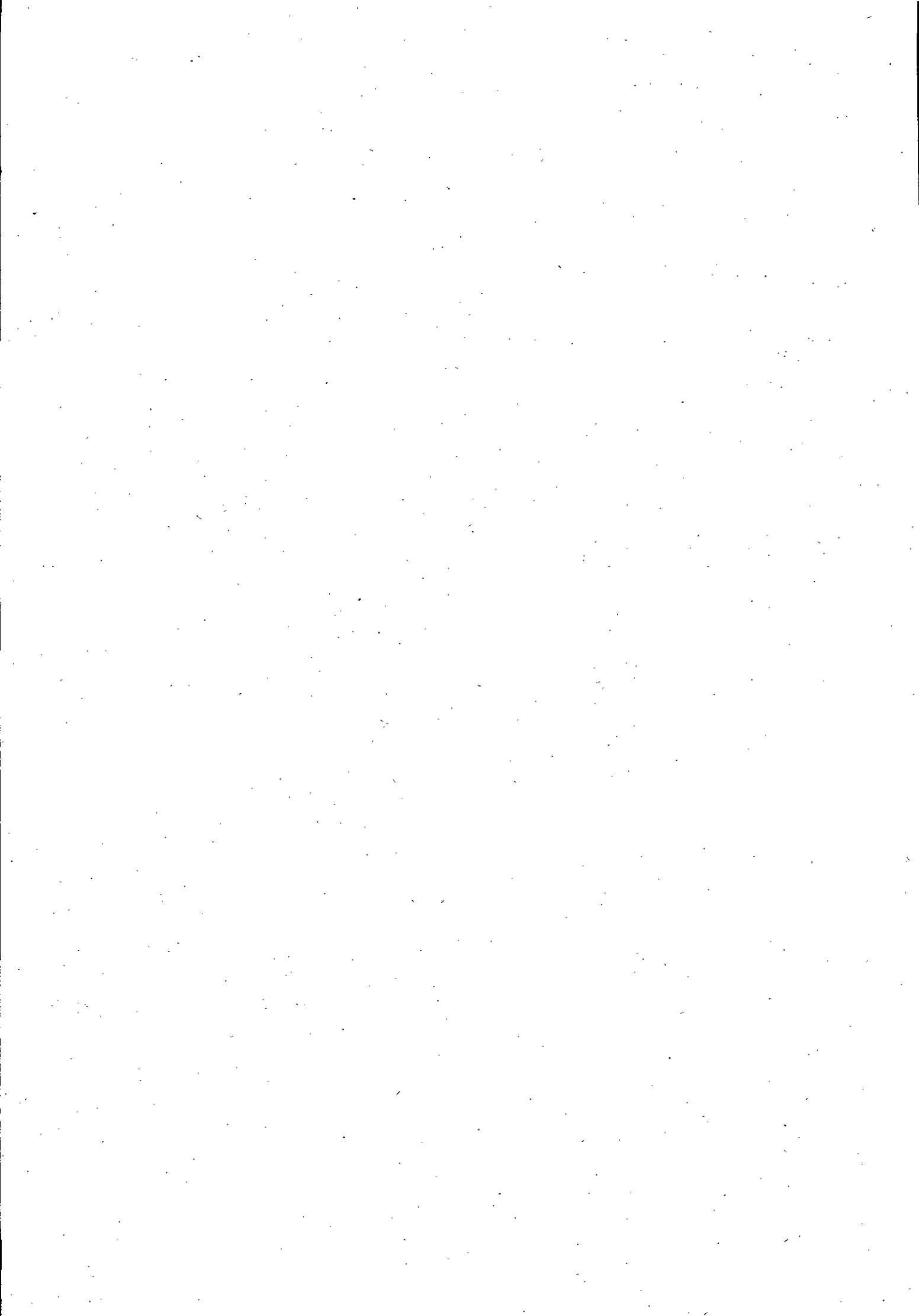
Sundhed og miljø

Da der ikke er væsentlige eksponeringer, kan der ikke forventes væsentlige effekter på sundhed og miljø ved bortskaffelse af LLDPE.

7 Litteratur

- 1) Boustead, I. (1993): Eco-profiles of the European plastics industry, Report 3: Polyethylene and Polypropylene, A Report for The European Centre for Plastics in the Environment
- 2) Boustead, I. (1993): Eco-profiles of the European plastics industry, Report 2: Olefin Feedstock Sources, A Report for The European Centre for Plastics in the Environment
- 3) Miljøstyrelsen (1990): Miljøprojekt nr. 131: Miljøvurdering af PVC og udvalgte alternative materialer
- 4) Dominighaus, H. (1988): Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften, VDI Verlag, Düsseldorf, Tyskland
- 5) Short J N (1981). Olefin Polymers. Low Pressure Linear (low Density) Polyethylene. In: Kirk-Othmer (ed.): Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Volume 16.
- 6) Ladefoged O. Nordiska expertgruppen för gränsvärdesdokumentation. 68. n-Hexan. Arbete och Hälsa 1986:20: 1-54.
- 7) Arbejdstilsynet. Grænseværdier for stoffer og materialer. At-anvisning nr 3.1.0.2 Januar 1992. Arbejdstilsynet, København.
- 8) Jensen B, Madsen JØ, Atlung G. Gasformige nedbrydningsprodukter ved polyethylen forarbejdning. Analysemetoder til produkt- og procesvurdering. Laboratoriet for Plastteknologi. DTH, Lyngby, 1987.
- 9) Hoff A, Jacobsen S, Pfäffli P, Zitting A, Frostling H. Degradation products of plastics. Polyethylene and styrene-containing thermoplastics - Analytical, occupational and toxicological aspects. Scand J Work Environ Health 1982, 8 suppl 2: 1-60.
- 10) Robinson HE, Cinkotai FF, Flindt MLH, Whitaker CJ. The effects of fumes from the thermal degradation of polyethylene on health. 4Ann Occup Hyg 1982, 25: 291-8.
- 11) Malmros P, Nersting L, Petersen C, Sigsgaard T. Arbejdsmiljøforhold ved genanvendelse af affald. Miljøprojekt nr. 161. Miljøstyrelsen, København.
- 12) Nisted, Torben, Forbrænding af forskellige plastmaterialer, notat i Ottosen, L M (1987), Miljøprojekt 87.

13) Schwarzenbach, Dr. K, Antioxidants (1987). In: Gächter & Müller
(ed.). Plastics Additives 2ed eddition.



REGISTRERINGSBLAD

Udgiver: Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K

Serietitel, nr.: Miljøprojekt, 288

Udgivelsesår: 1995

Titel:

Miljøvurdering af LLDPE

Undertitel:

Plastmaterialet linear low density polyethylen

Forfatter(e):

Møller, Susanne; Jelnes, Jens Erik; Færgemann, Henriette

Udførende institution(er):

Miljøstyrelsen. Rådet vedr. genanvendelse og mindre forurenende teknologi (spons); Dansk Teknologisk Institut. Miljøteknik

Resumé:

Rapporten omfatter en vurdering af de miljø- og sundhedsmæssige forhold knyttet til materialet linear low density polyethylen (LLDPE) vurderet i hele materialets livscyklus. Idet materialet LLDPE er et potentielt alternativ til PVC, er det vurderet relativt i forhold til PVC.

Emneord:

polyetylen; livscyklusvurdering; PVC; substitution

ISBN: 87-7810-328-2

ISSN: 0105-3094

Pris (inkl. moms): 65 kr.

Format: A4

Sideantal: 34

Md./år for redaktionens afslutning: januar 1995

Oplag: 400

Andre oplysninger:

Livscyklusvurdering af PVC m.v. findes i "Miljøvurdering af PVC og udvalgte alternative materialer", Miljøprojekt 131.

Tryk: P. J. Schmidt Tryk, Vojens

Trykt på 100% genbrugspapir Cyclus