



ZPRACOVÁNÍ ODPADŮ TEXTILNÍCH A POLYMERNÍCH



Fig. 1.—A "tailor"



1850 vs. 2019



Název: Zpracování odpadů textilních a polymerních

Autor: Ing. Jakub Hrůza, Ph.D.

Adresa: Technická Univerzita v Liberci, Fakulta textilní,
Katedra netkaných textilií, Studentská 2, Liberec 1, 461 17

Datum: 2.2. 2022

*Hlavní strana:

1. Muž svázející textilní odpad v Anglii, polovina 19. století.

Zdroj: [Gee, 1950]

2. Muž třídící odpad na skládce v Nairobi (Kenia), 2019

Zdroj: [Ben Curtis (AP)]



Co je odpad?

1) **Hlavní definice:** Odpad je produkt, látka, nebo materiál v dané chvíli nepotřebný.

2) **Právní definice:**

Odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit a přísluší do některé ze skupin odpadů uvedených v příloze č. 1 k tomuto zákonu.

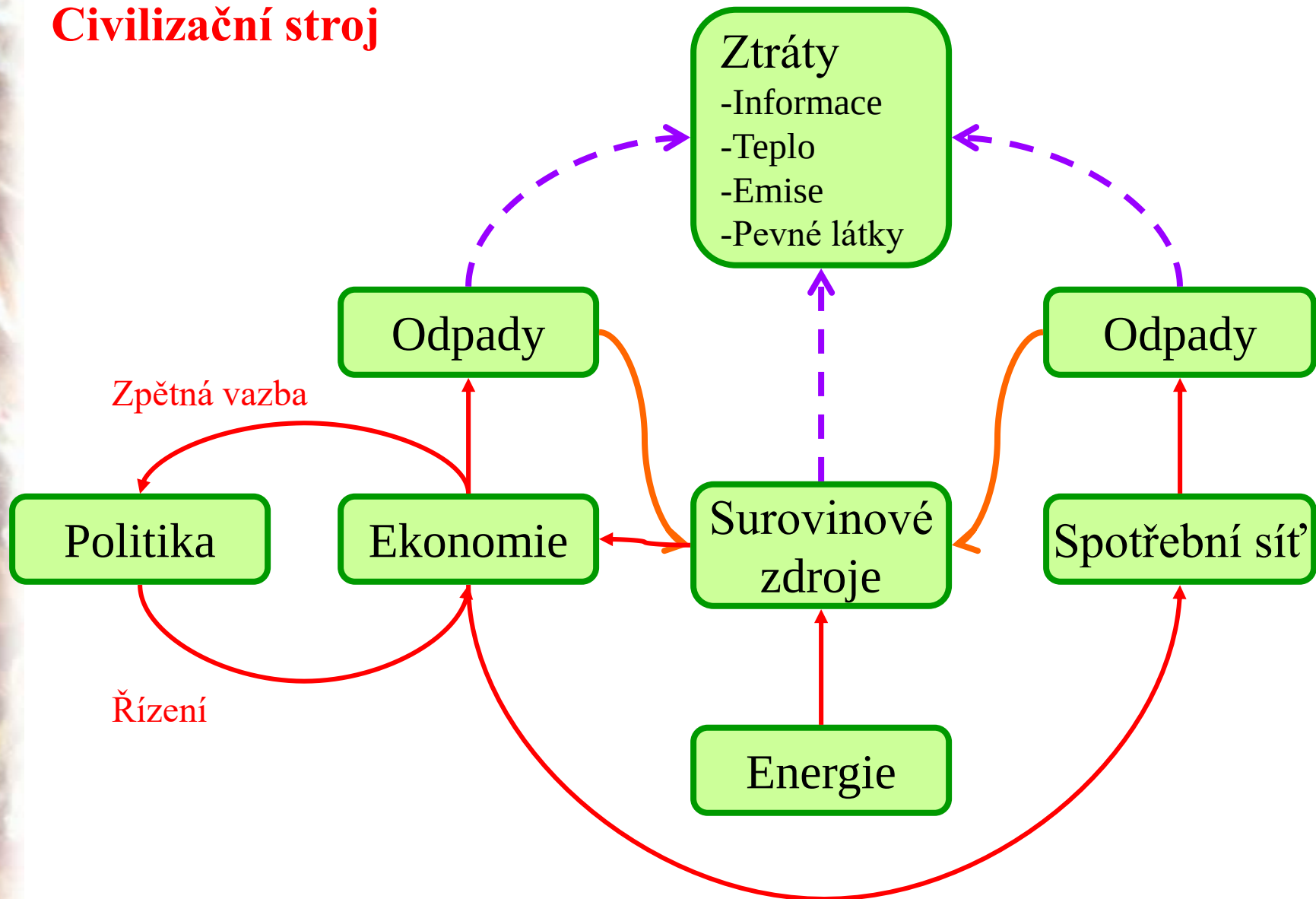
Zdroj: [Zákon, 541/2020]

3) **Technologická definice:**

Odpad je produkt, který nesplňuje požadované parametry.



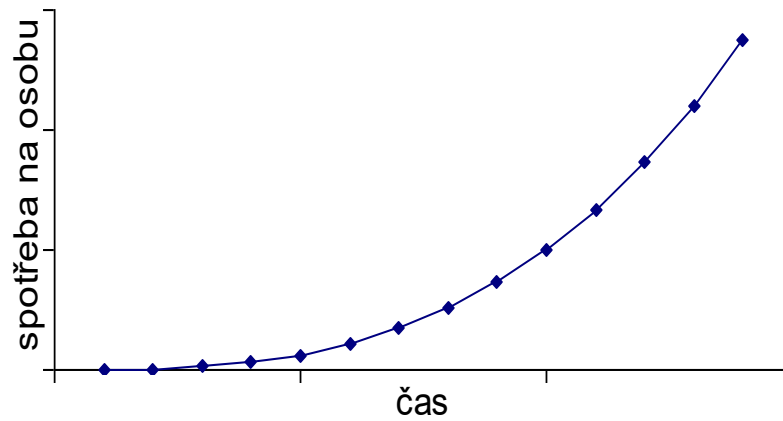
Civilizační stroj



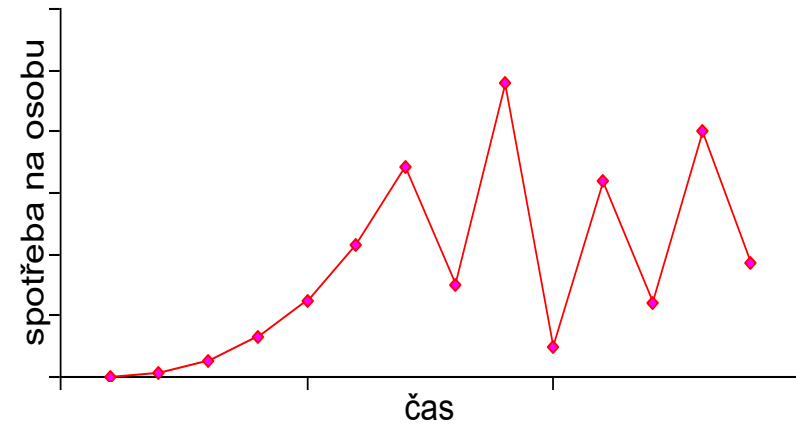


Modely růstu spotřeby (růst produkce odpadu)

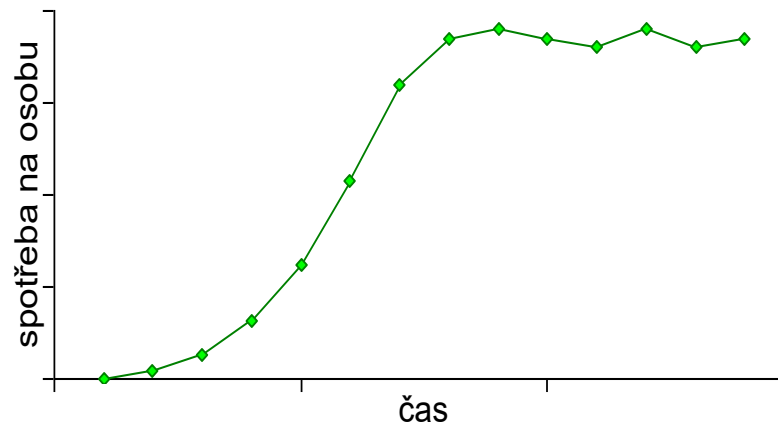
Exponenciální model



Krizový model



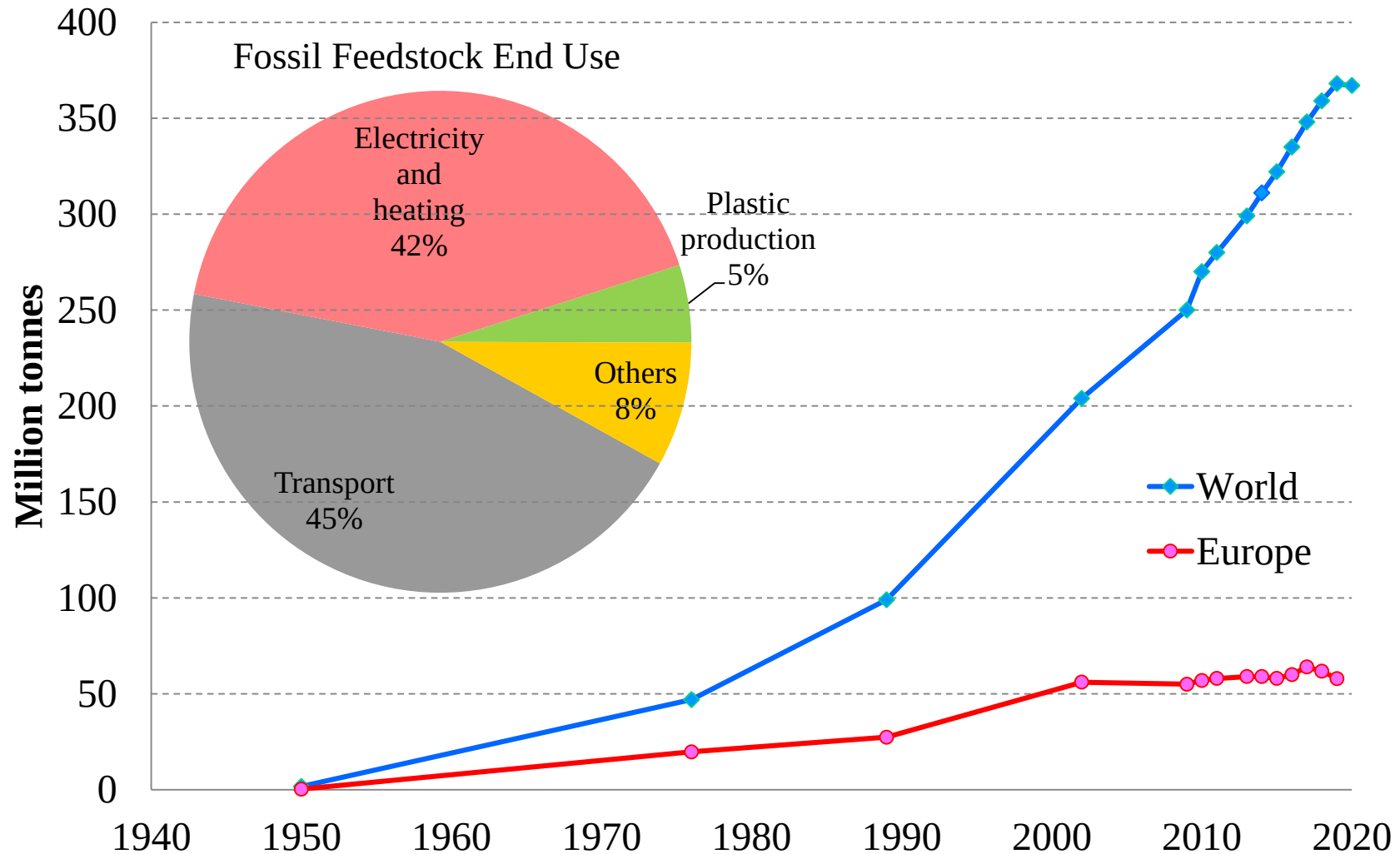
Ideální model



Zdroj: [Merian, 1975]



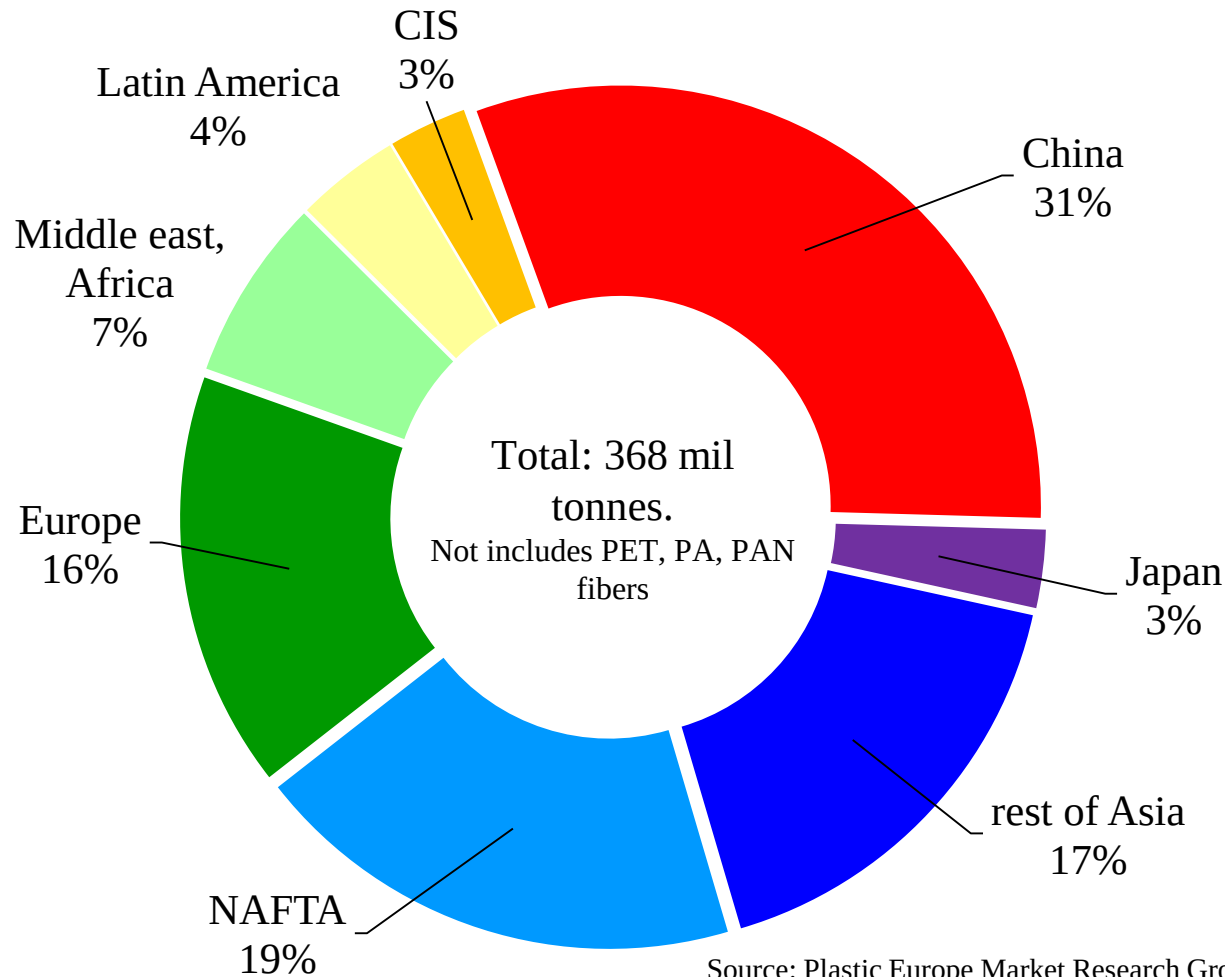
World and Europe plastic production



Source: Plastic Europe Market Research Group (PEMRG)
and Conversio Market & Strategy GmbH



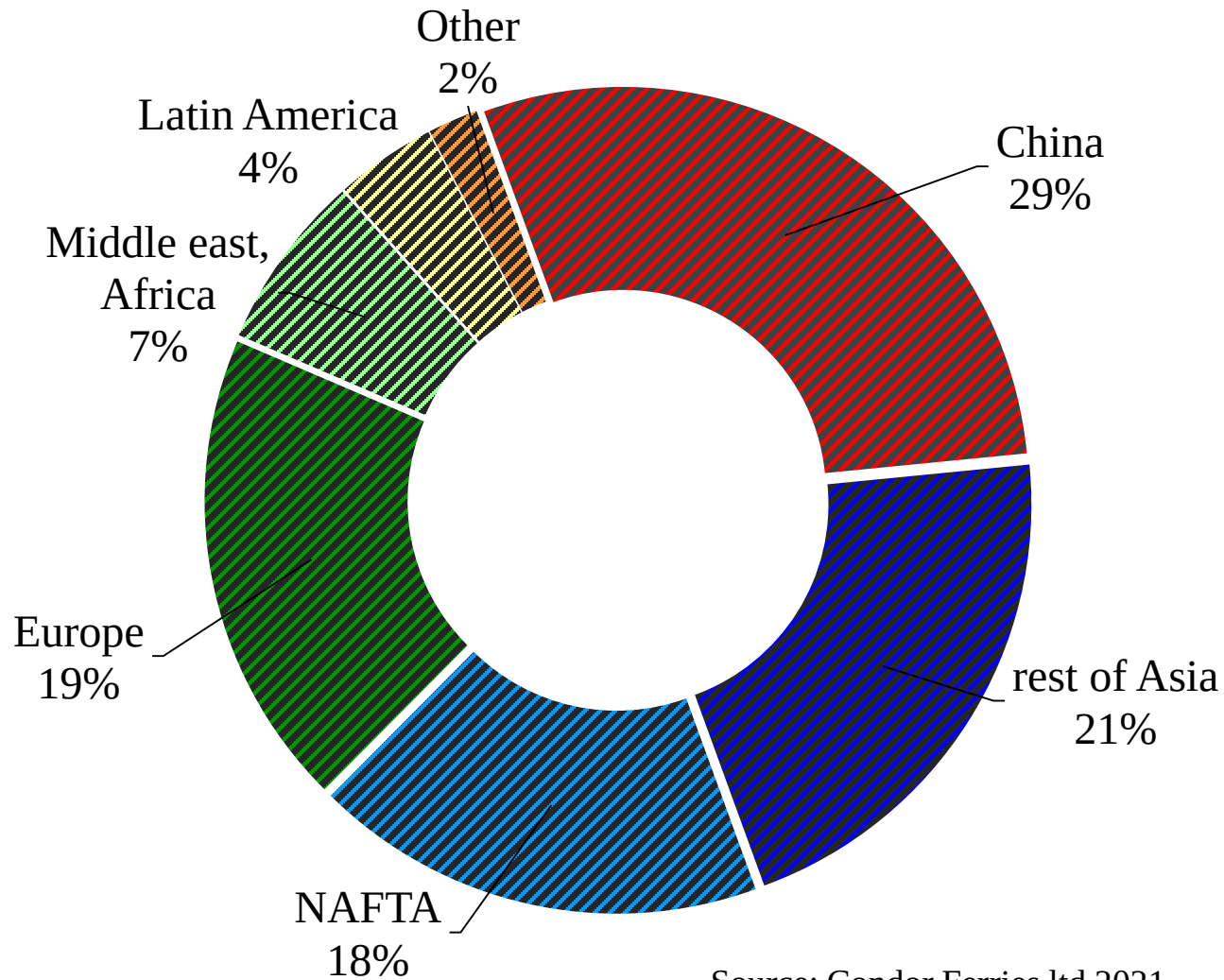
World production of plastic materials in 2019



Source: Plastic Europe Market Research Group (PEMRG) and Conversio Market & Strategy GmbH



Zdroje znečištění oceánů plastovým odpadem (2020)



Source: Condor Ferries ltd 2021

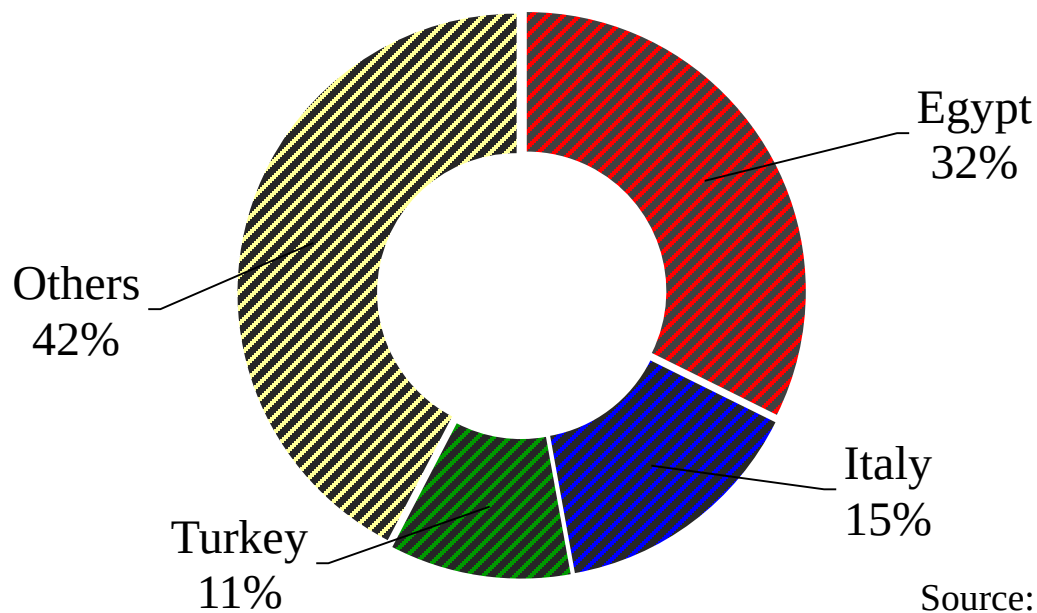


- 5 největších znečišťovatelů tvoří 60 % plastového odpadu v oceánech: Čína, Indonésie, Filipíny, Vietnam, Sri Lanka, Egypt.
- 10 řek přináší 90% plastového odpadu: Jang-c'-ťiang, Chuang-che (Žlutá řeka), Indus, Chaj-che, Ganga, Mekong, Amur, Pearl river (Zhujiang), Nil, Niger.





Zdroje znečištění Středozemního moře plastovým odpadem



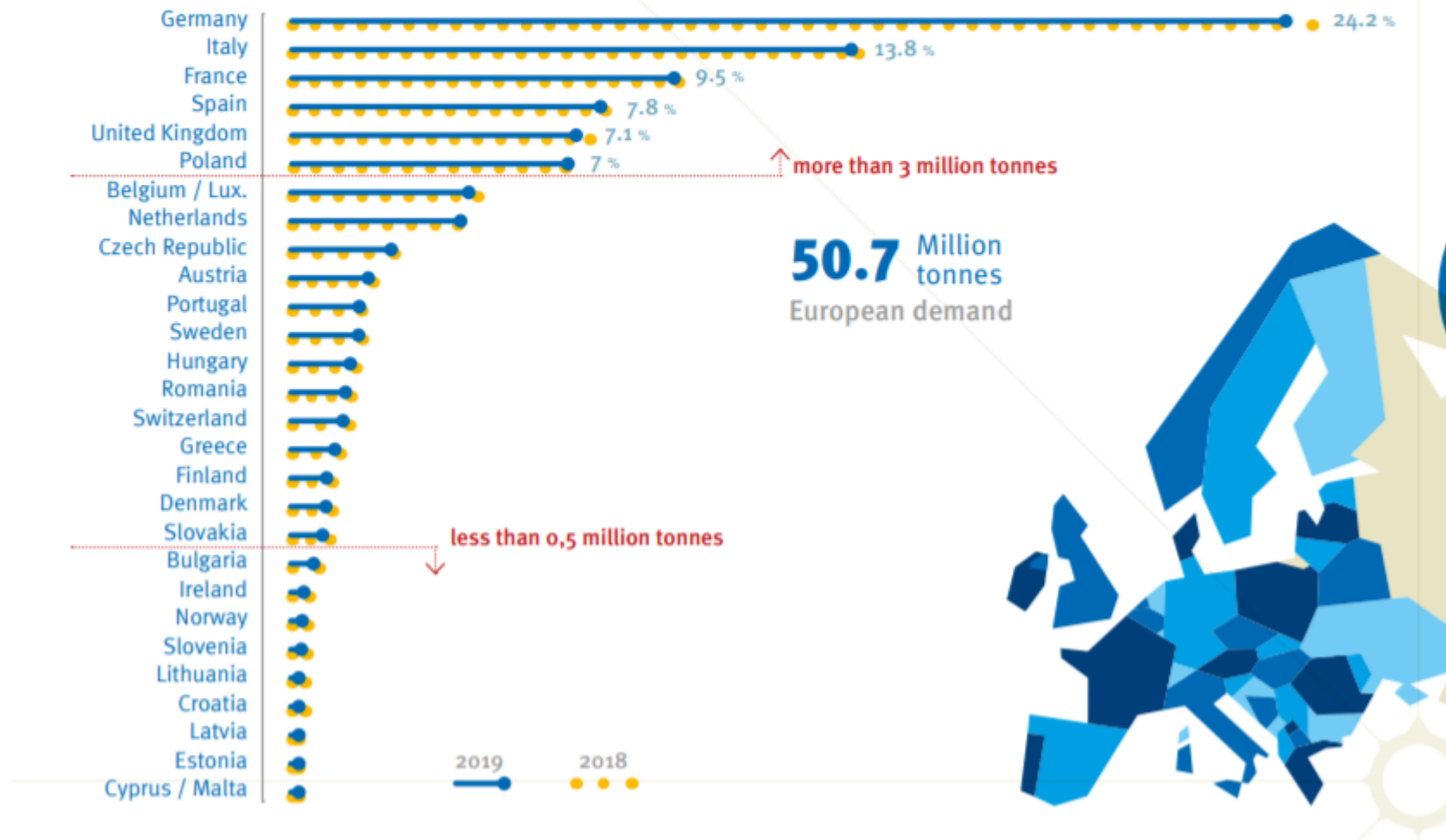
Source: Odpady 12/2020



SOURCE: PlasticsEurope
Market Research Group
(PEMRG) and Conversio Market
& Strategy GmbH

PLASTICS DEMAND BY COUNTRY 2018 AND 2019

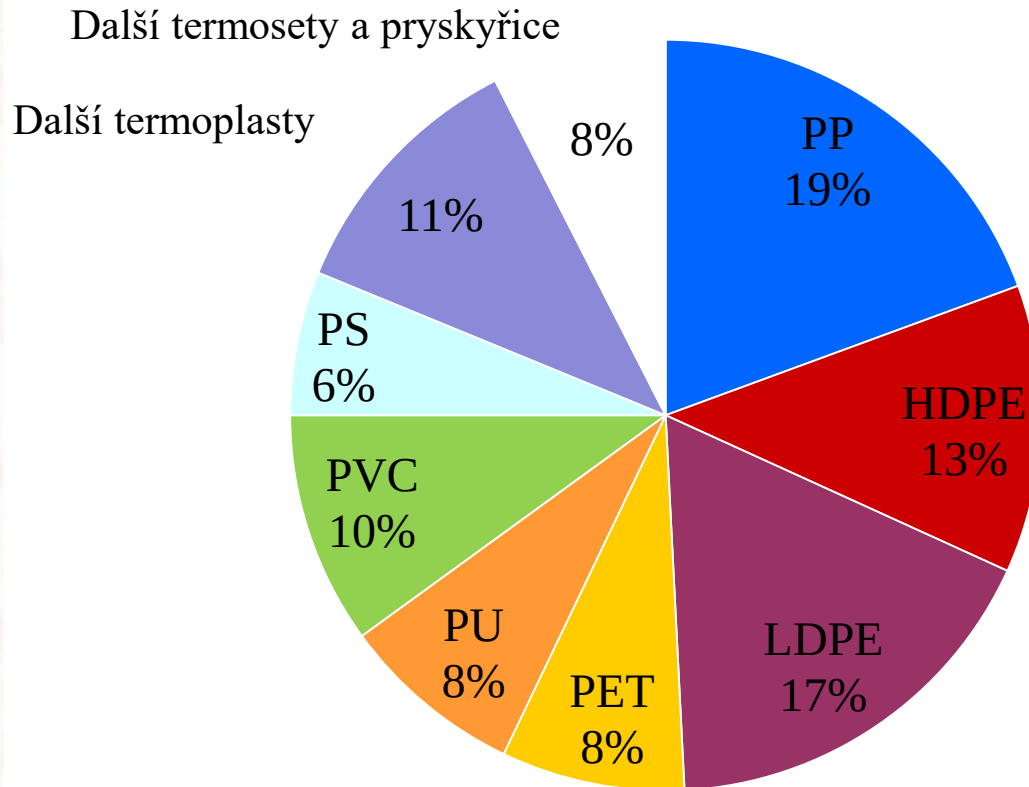
Distribution of European (EU28+NO/CH) plastics converters
demand by countries in 2018 and 2019.





Produkce základních plastů, 2019

(Zdroj: Asociacion of Plastic Manufacturers)

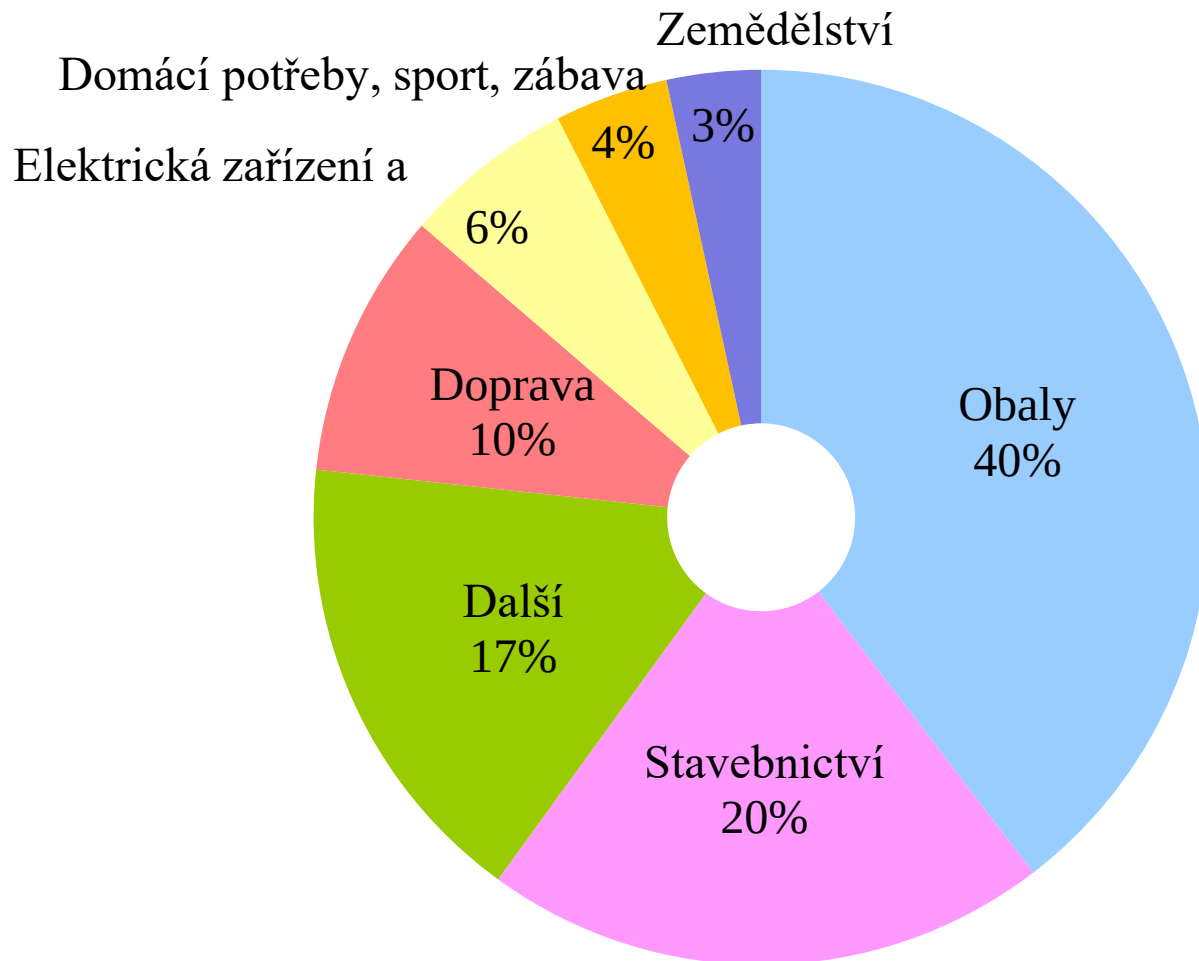


- PP: balení potravin a výrobků, automotive, trubky, geotextilie
- HDPE: hračky, lahve, trubky, domácí potřeby
- LDPE: obalové folie a pytle, folie.
- PET: lahve, vlákna
- PU: lepidla, automotive, tepelná izolace...
- PVC: okenní rámy, bazény, trubky...
- PS: tepelná izolace budov, průhledné výrobky



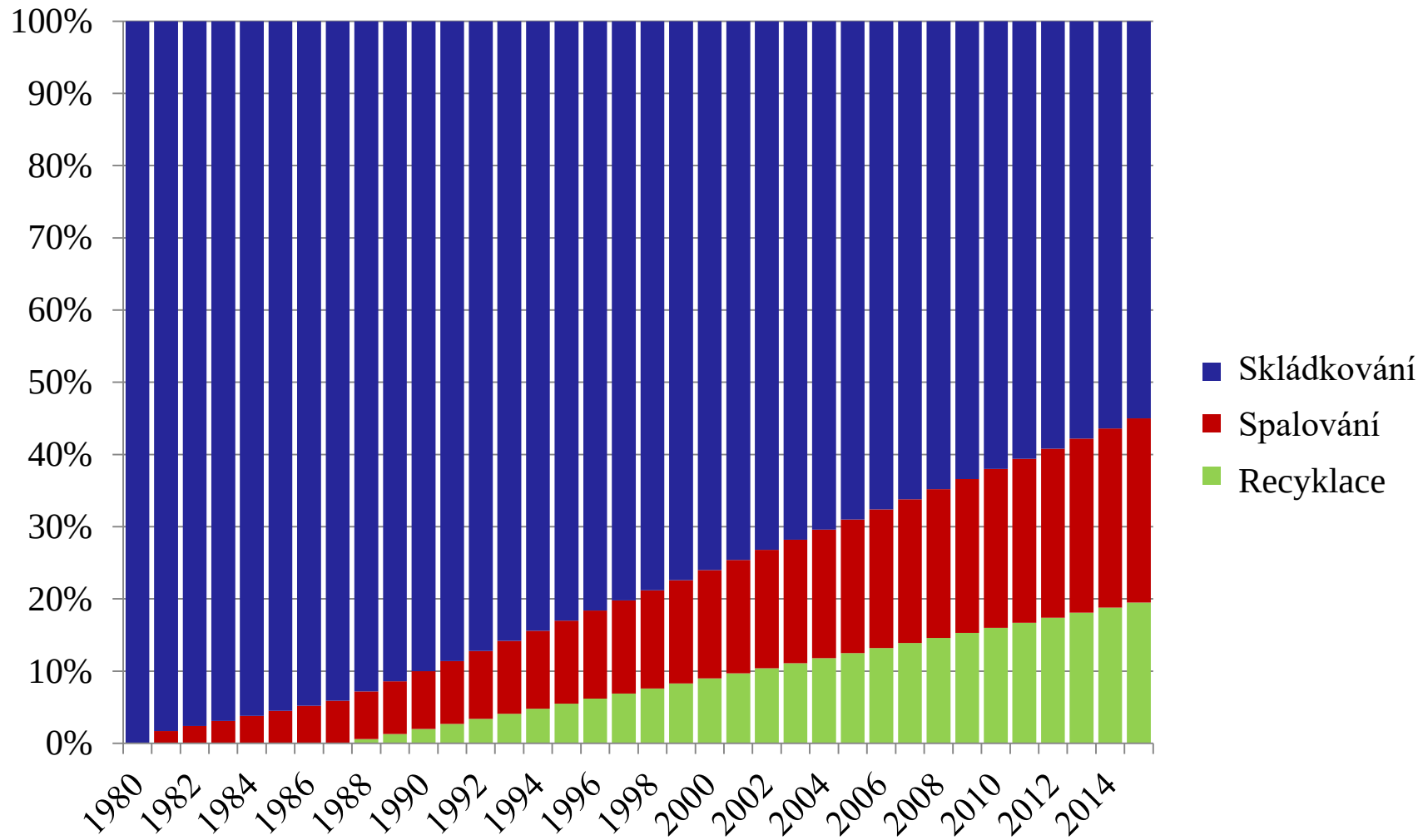
Produkce plastů podle použití, 2019

(Source: Asociacion of Plastic Manufacturers)



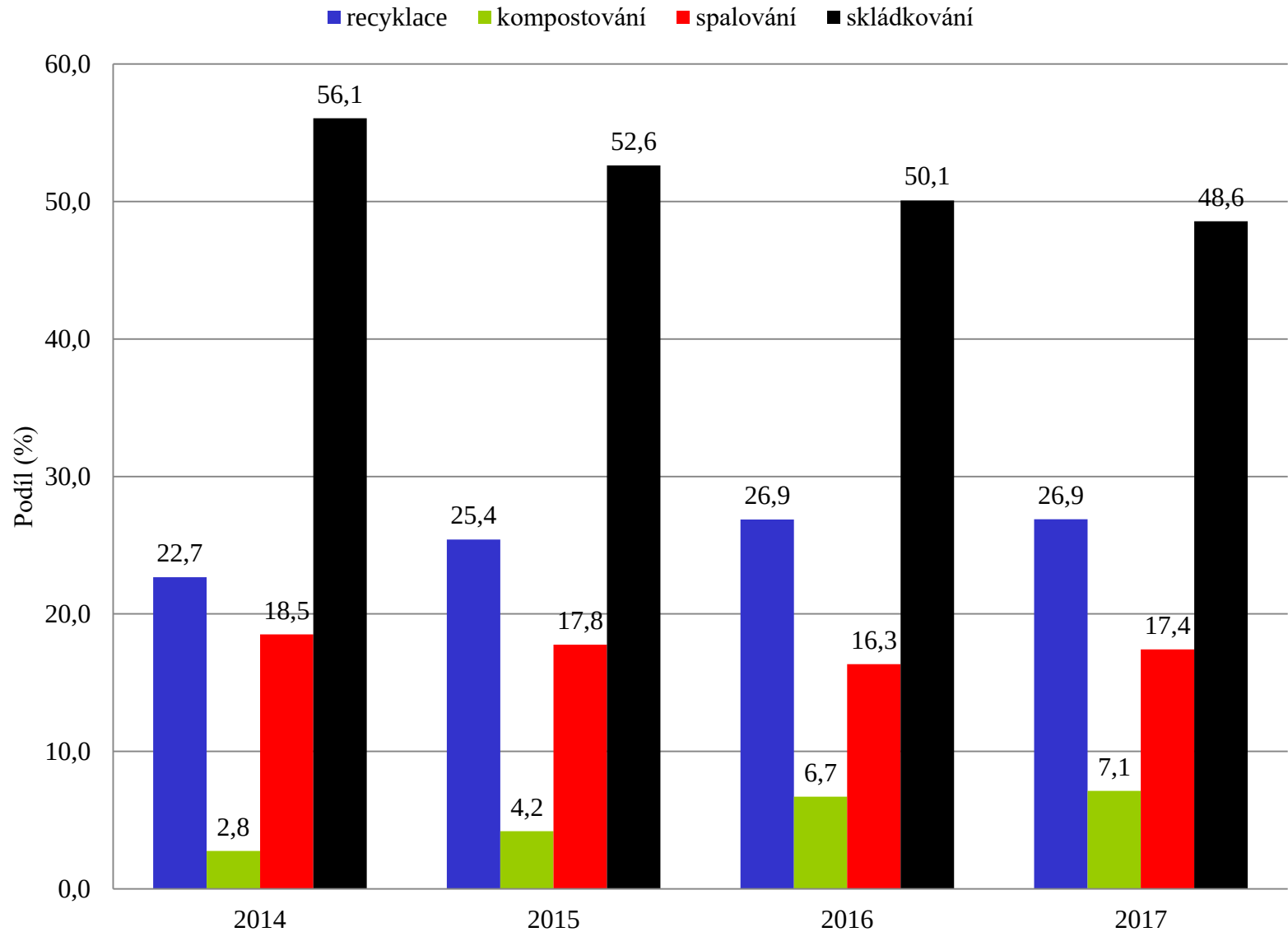


Vývoj zpracování plastového odpadu ve světě (zdroj Geyer at al. 2017)



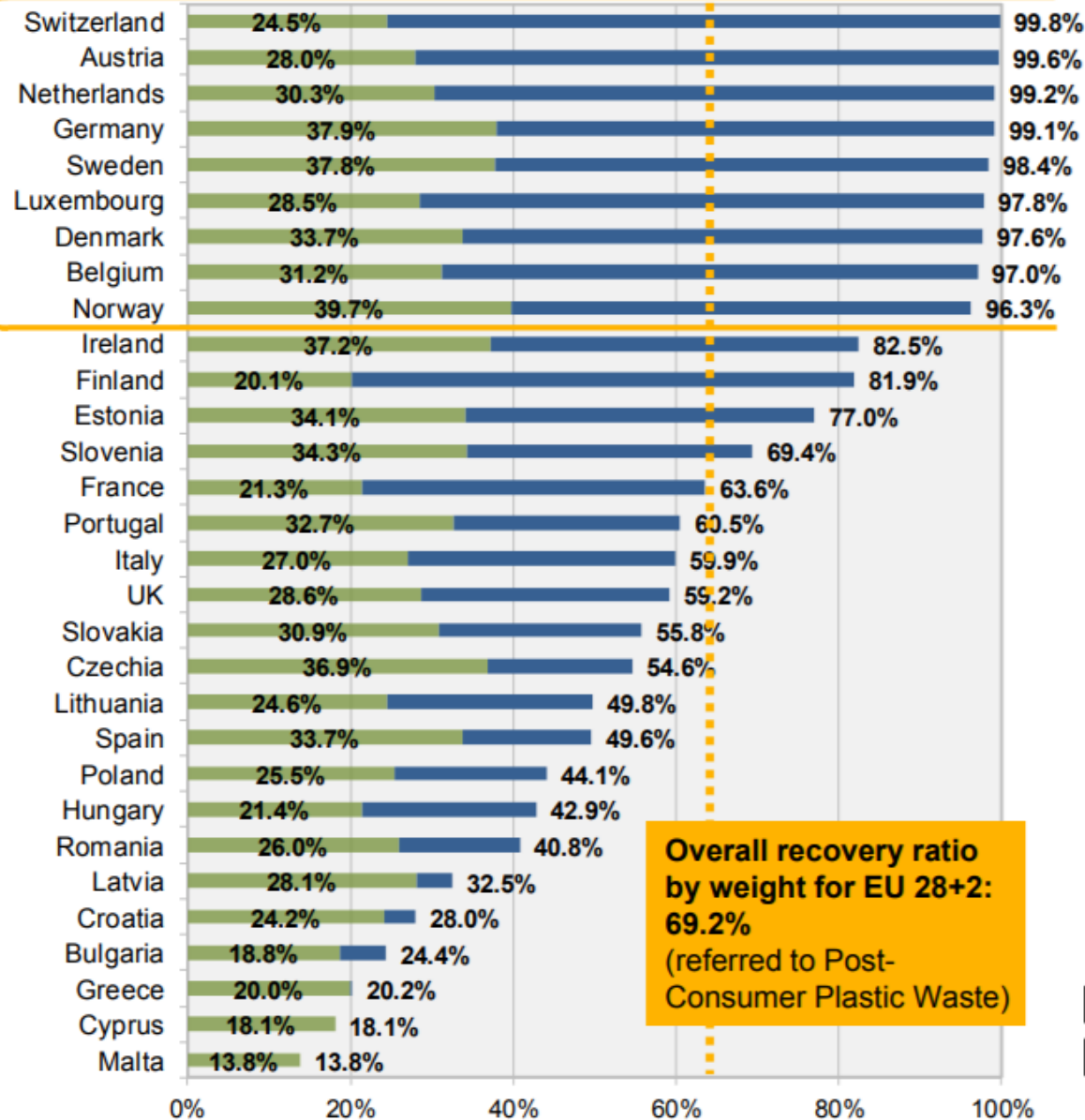


Podíl způsobu likvidace odpadů v ČR





Countries
with
landfill
ban

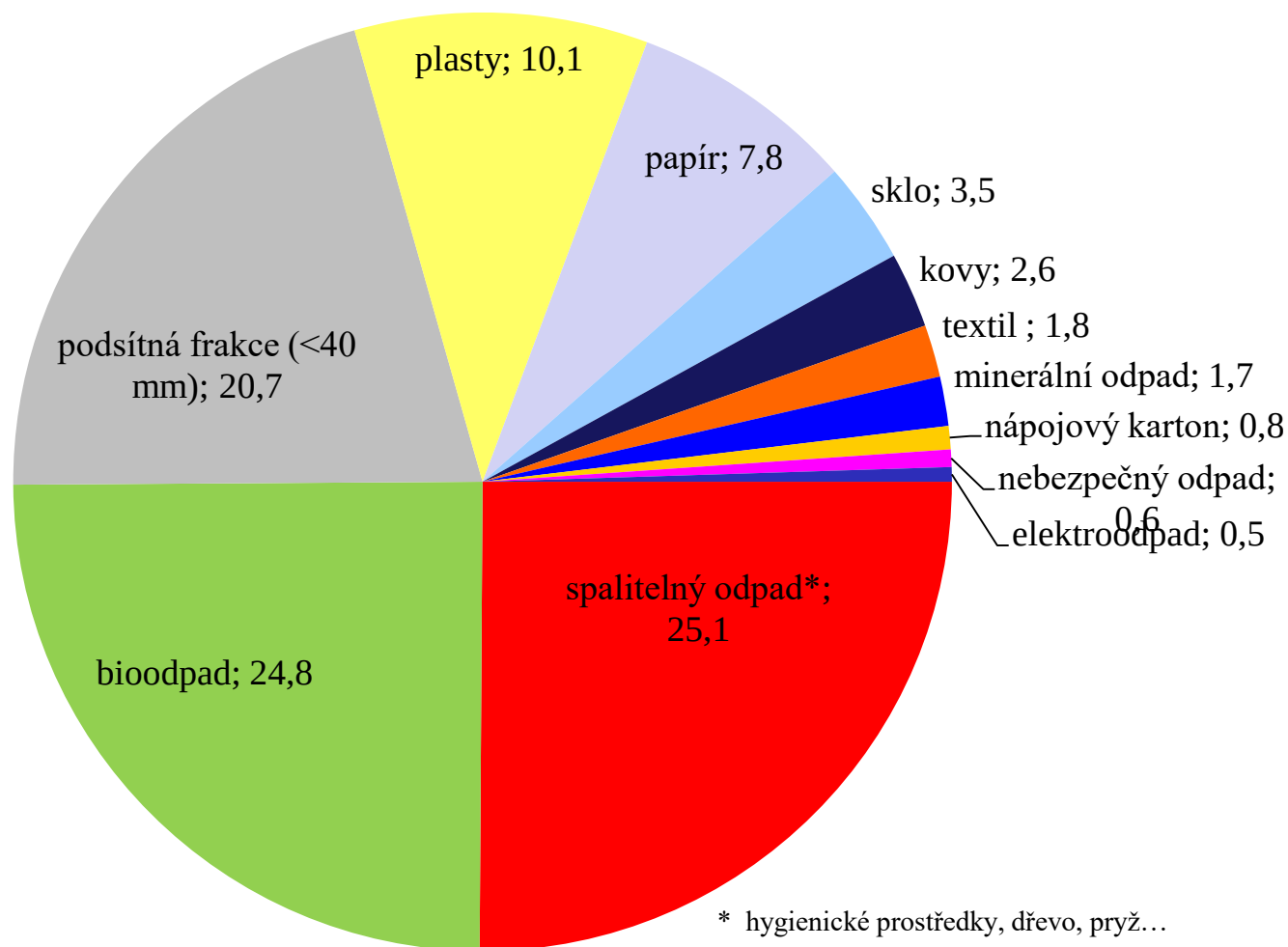


**Overall recovery ratio
by weight for EU 28+2:
69.2%**
(referred to Post-
Consumer Plastic Waste)

Recycling
Energy recovery



Složení směsného komunálního odpadu v ČR v r. 2020
[% hm.] Zdroj: EKO-KOM a.s.





Právní systém:

- **Mezinárodní úmluvy a vztahy:** např. Rámcová úmluva OSN o změně klimatu byla přijata na Konferenci OSN o životním prostředí a rozvoji v Rio de Janeiru v roce 1992 a vstoupila v platnost dne 21. 3. 1994.
- **Pravidla v rámci EU:** Evropská strategie pro plasty v oběhovém hospodářství (2018)
- **Národní zákony:** Zákon o odpadech 541/2020 Sb.
- **Vyhlášky:**
 - 273/2021 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s odpady
 - 94/2016 Sb. Vyhláška o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů
 - 341/2008 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozlož. odpady
 - 16/2022 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s některými výrobky s ukončenou životností
- **Normy:**
 - ČSN 64 0003, Plasty. Zhodnocování plastového odpadu. Názvosloví
 - ČSN 64 0004, Plasty. Značení plastových výrobků pro identifikaci materiálu



DIRECTIVE (EU) 2018/850 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 30 May 2018

- Reduce to a minimum landfilling of waste destined for landfills for non-hazardous waste
- 5 grade scale for waste treatment methods:

Prevention of waste production

Reusing

Recycling

Energy recovering

Landfilling



Evropská strategie pro plasty v oběhovém hospodářství :

Souhrn doporučení:

1) Improving the economics and quality of plastics recycling

- Improve design and support innovation to make plastics and plastic products easier to recycle;
- expand and improve the separate collection of plastic waste, to ensure quality inputs to the recycling industry;
- expand and modernise the EU's sorting and recycling capacity;
- create viable markets for recycled and renewable plastics.

2) Curbing plastic waste and littering

3) Driving innovation and investment towards circular solutions

4) Harnessing global action



Zákon o odpadech 541/2020

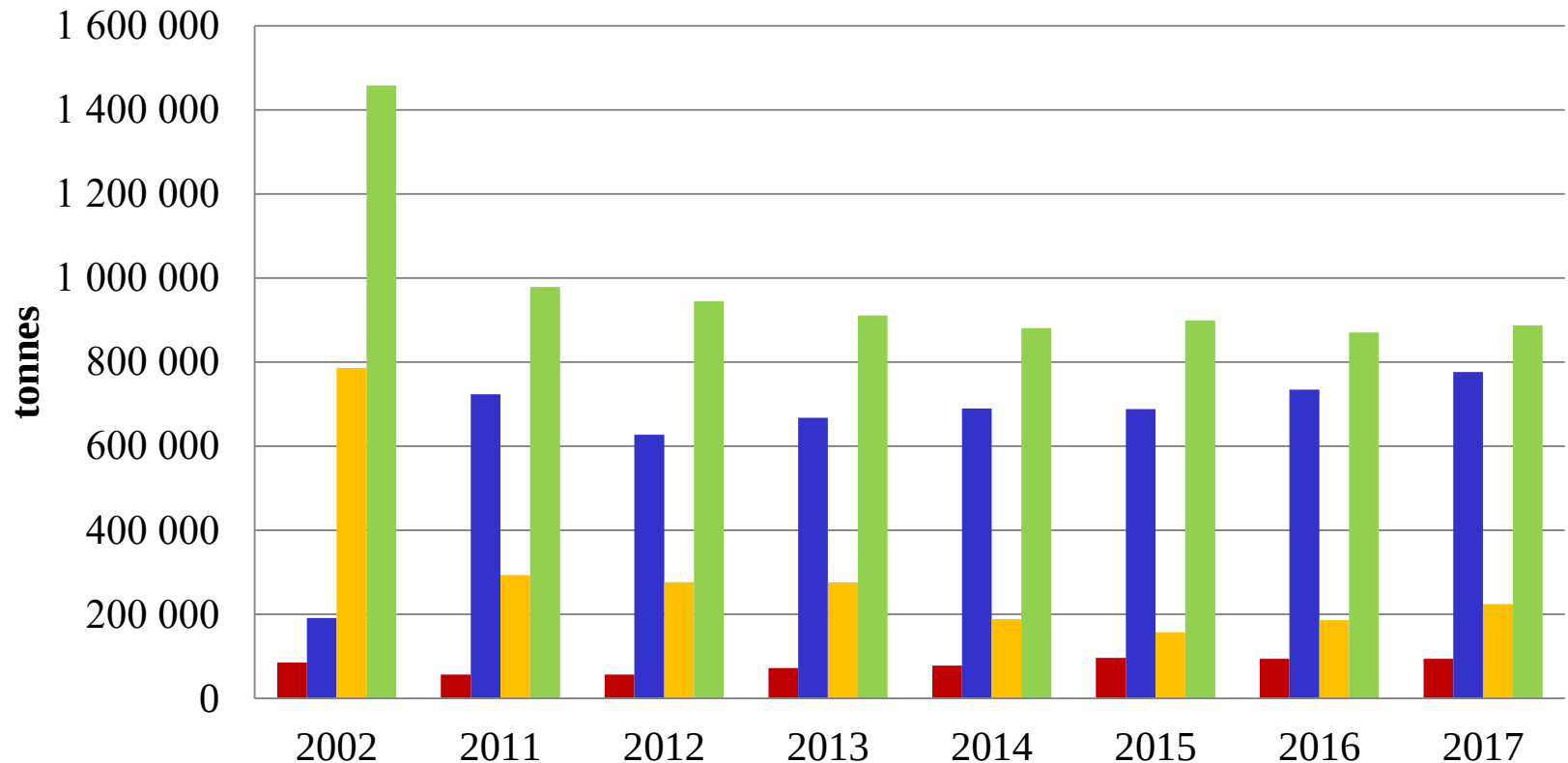
- **Obecná ustanovení**
 - Definice odpadu, jeho klasifikace,
 - definice nebezpečného odpadu, definice vedlejšího produktu,
 - určení původce odpadu
- **Nakládání s odpady**
 - Soustředování, skladování,
 - úprava, využití, odstranění,
 - obchodování, přeprava...
- **Evidence a ohlašování**
- **Plány odpadového hospodářství**
- **Poplatky, nápravná opatření, sankce, definice státní správy atd...**





Produkce odpadu v České republice (zdroj: statistický úřad)

- 04 Wastes from the leather, fur and textile industries
- 15 Waste packaging; absorbents, wiping cloths, filter materials and protective clothing not otherwise specified
- 03 Wastes from wood processing and the production of panels and furniture, pulp, paper and cardboard
- 20 Municipal wastes (household waste and similar commercial, industrial and institutional wastes) including separately collected fractions





Dělení odpadu:

1) Podle původu:

- **Průmyslový** (obvykle dobře definovaný)
Odpad v textilním a plastikářském průmyslu
- **Sběrový** (obvykle nutno třídit podle kvality)
Sběrové odpady z plastů lze dělit do skupin:
 - **Obaly** (včetně textilu a papíru)
 - **Stavební odpady**
 - **Automobily** (včetně pneumatik)
 - **Elektronika**
 - **Ostatní** (včetně textilu)



2) Podle nebezpečnosti (*Vyhláška MŽP č. 337*)

3) Podle materiálu (plasty, sklo, minerální materiál)

4) Podle možného způsobu zpracování

- **Recyklace** (regranulace, textilní využití, drcení....)
- **Energetické využití** (pyrolýza, spalování...)
- **Skládkování**



Vyhláška 337: Nebezpečné vlastnosti odpadů

1. **Výbušnost** (mohou explodovat působením vnějších tepelných podnětů nebo jsou citlivé k nárazu nebo ke tření nebo je u nich možno vyvolat reakce detonativního charakteru nebo v nich po zážehu probíhá rychlé výbuchové hoření).
2. **Oxidační schopnost** (ve směsi s hořlavými látkami se stávají hořlavé, nebo výbušné, možnost samovznícení)
3. **Hořlavost** (dané teplotou vzplanutí)
4. **Dráždivost** (vyvolávají zanícení pokožky, nebo sliznice – bez žíravosti)
5. **Škodlivost zdraví** (mohou po vdechnutí, požití nebo proniknutí kůží způsobit lehké poškození zdraví)
6. **Toxicita** (vdechnutí, požití nebo proniknutí kůží může vést k vážnému, akutnímu nebo chronickému poškození zdraví, případně i smrti)
7. **Karcinogenita** (po vdechnutí, požití nebo proniknutí kůží vést k onemocnění rakovinou nebo zvýšit četnost výskytu rakoviny)
8. **Žíravost** (při krátkém, prodlouženém nebo opakovaném styku s pokožkou nebo sliznicí vyvolat její poškození)

Zdroj: [Vyhláška,337/2010]



9. **Infekčnost** (obsahují životaschopné mikroorganismy nebo jejich toxiny a další infekční agens, s dostatečnou virulencí v koncentraci nebo množství, o nichž je známo nebo spolehlivě předpokládáno, že způsobují onemocnění člověka nebo jiných živých organismů)
10. **Teratogenita** (obsahují teratogenní látky nebo přípravky (toxické pro reprodukci), které mohou po vdechnutí, požití nebo proniknutí kůží vyvolat nebo zvýšit četnost výskytu nedědičných vrozených malformací nebo funkčních poškození)
11. **Mutagenita** (mohou po vdechnutí, požití nebo proniknutí kůží vyvolat vznik nebo zvýšit pravděpodobnost výskytu dědičných genetických vad.)
12. **Schopnost uvolňovat vysoce toxické a toxické plyny ve styku s vodou, vzduchem nebo kyselinami**
13. **Schopnost uvolňovat nebezpečné látky do životního prostředí při nebo po jejich odstranění**
14. **Ekotoxicitata** (představují nebo mohou představovat akutní nebo pozdní nebezpečí pro jednu nebo více složek životního prostředí.)



Odpady v textilním průmyslu

1. Hluk

2. Vzduch – prach, výpary

3. Voda – praní, zušlechťování

4. Pevné odpady

- Vlákenné odpady: vlákna, nitě, kusový textil
- Nevláknenné odpady: strunový odpad (zvlákňování), rostlinný, živočišný odpad, slepená vlákna



Způsoby nakládání s odpadem – Kam s ním?

1. Zabránění vzniku

- Zlepšením technologie výroby zabránit vzniku průmyslových odpadů
- Výroba produktu, který lze snadněji recyklovat, nebo zvýšit životnost
- Snižováním své vlastní spotřeby – skromnost

Výhoda: Nejvýhodnější z pohledu ekonomického i ekologického

Nevýhoda: Protiklad mezi recyklovatelností a životností výrobku

2. Opakované použití

- Zvýšení životnosti prodejem, nebo darováním výrobku – second hand, bazar...
 - Velký vliv logistiky a ekonomiky, sociální sítě apod.
- Výhoda: Menší celková spotřeba, přínosné pro další uživatele.

Nevýhoda: Přenos zodpovědnosti za finální likvidaci na méně motivované a schopné uživatele.



3. Materiálová recyklace

Odpady jsou zpracovány do stejného, nebo odlišného typu výrobku.

Patří sem:

- Textilní zpracování,
- drcení,
- regranulace,
- chemická recyklace,
- částečně biotechnologické postupy.

Výhoda: Možnost využití až 100 % odpadu s malou, nebo nulovou ztrátou.

Nevýhoda: Zhoršení vlastností recyklovaného výrobku (degradace polymeru, zkracování vláken....); nutná technologická vyspělost, schopnost předvídat důsledky.





- a) Vratný odpad – je zpracován do stejného typu výrobku (např. ořezy)



- b) Nevratný odpad – je zpracován do výrobku odlišných fyzikálních, nebo chemických vlastností (např. vlákno – drť, granule, monomer...)



Problém textilní recyklace: Vlivem mechanického a/nebo termického působení dochází ke:

1. Zhoršení vlastností (pevnost...) recyklovaného výrobku - často nutno mísit s primární surovinou
2. Kolísání vlastností – vhodné mísit velké objemy odpadů

4. Surovinová recyklace

- Biotechnologické postupy (kompostování, skládkování).
- Termické postupy: Neřízená depolymerace, pyrolýza, spalování.

Výhoda: pro termické zpracování vysoká výhřevnost polymerních materiálů, možnost zpracování směsových materiálů, nezávisí na tvaru a velikosti odpadu; pro biotechnologické postupy málo emisí

Nevýhoda: pro termické zpracování náročné odlučování emisí spalin a pevného odpadu – vysoké náklady, nebezpečí havárie; pro biotechnologické postupy malá účinnost na polymerní materiály.

5. Uložení – skládkování

- Řízené skládky: Nákladné, nebezpečné, možno ale kombinovat se surovinovou recyklací
- Divoké skládky

Výhoda: Možnost využití skládkového plynu pro energetické účely a využití obsahu skládky pro archeologický výzkum našich potomků, případně mimozemských civilizací.

Nevýhoda: Nákladné, nebezpečné, dlouhodobý účinek



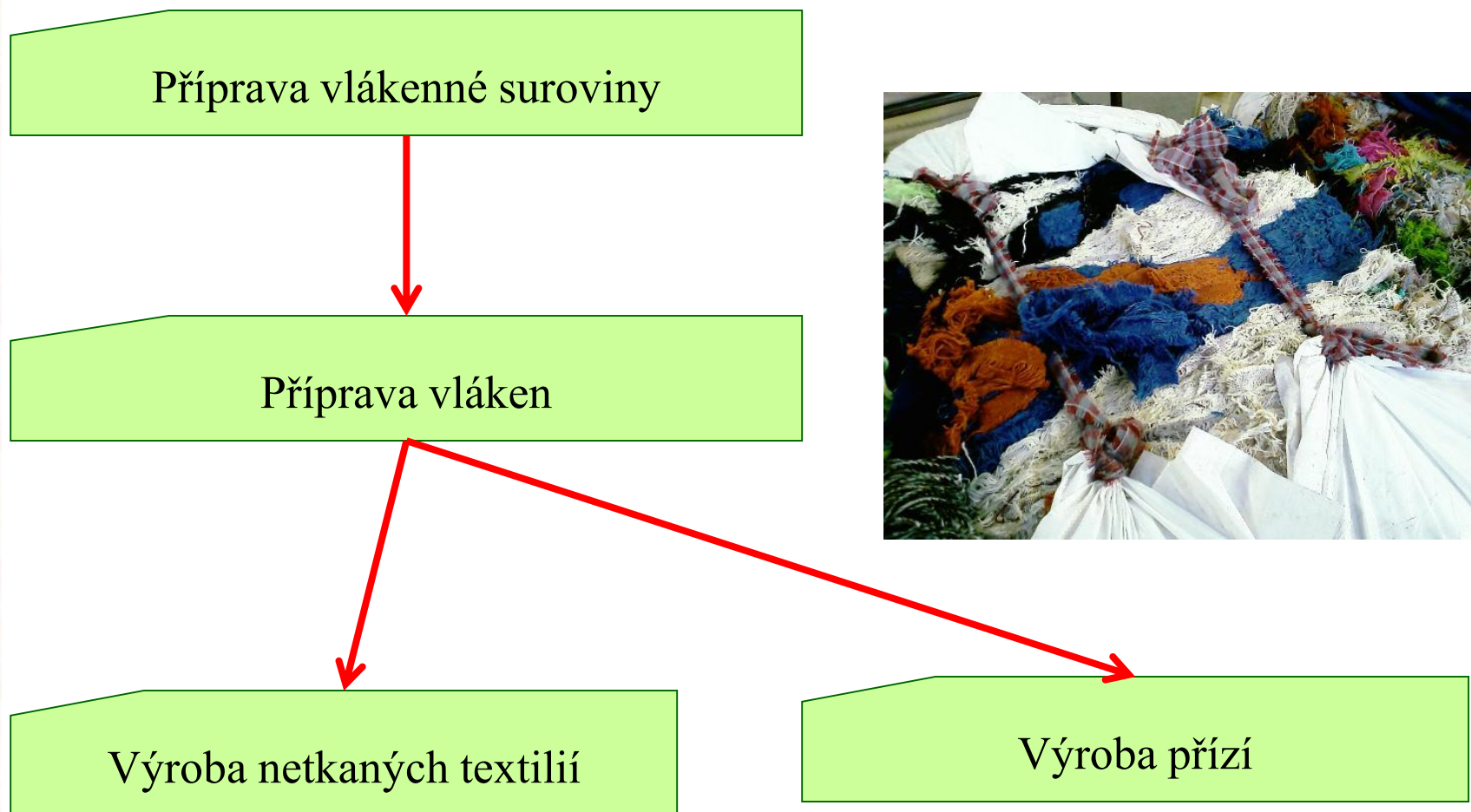


1. Zpracování textilního a vláknenného odpadu





Základní schéma textilního zpracování odpadů



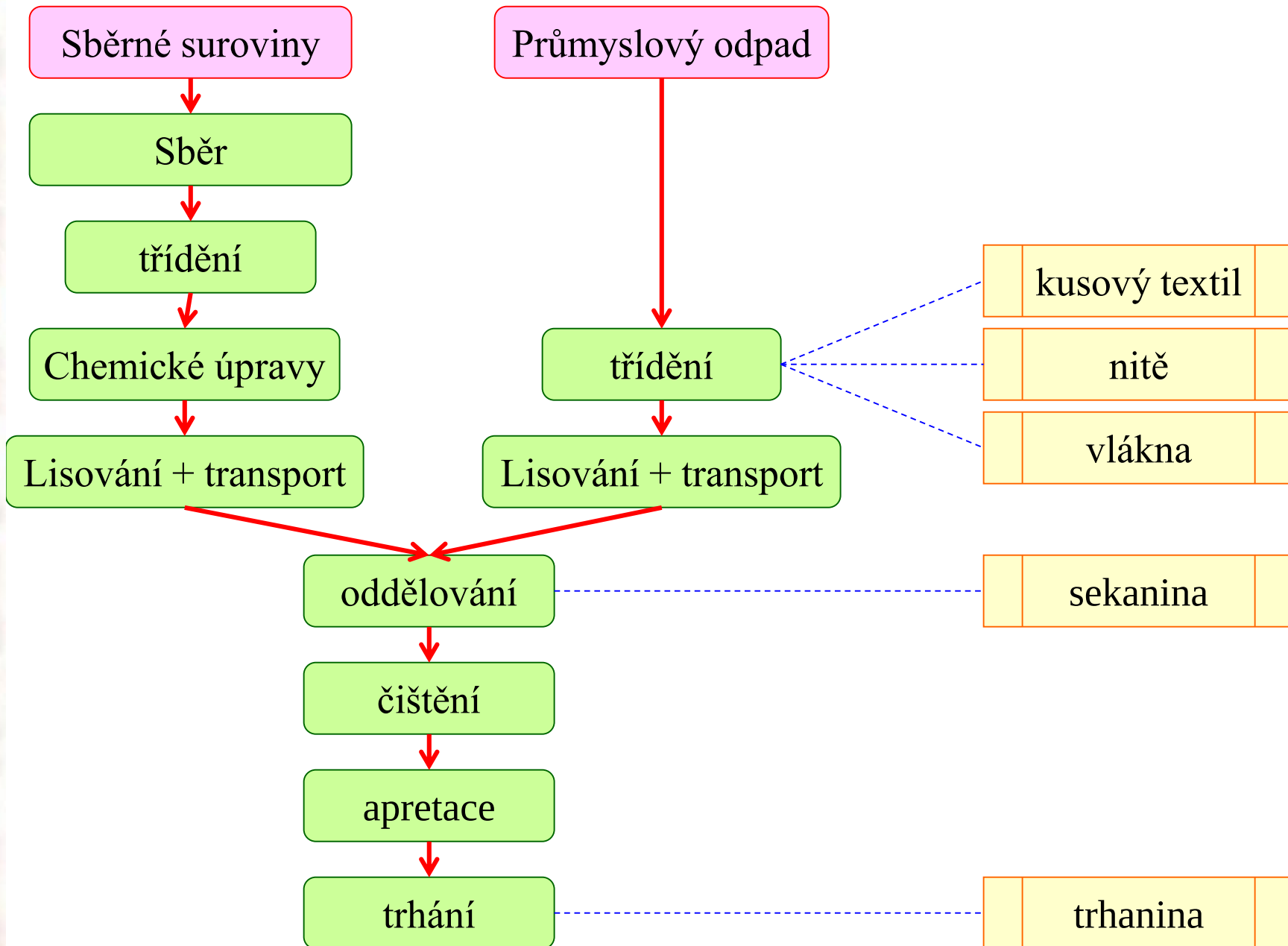




Schéma přípravy vláknenné suroviny

Technologie

Otevírání balíků



Směsování



Rozvolňování



Čištění



Apretace



Mísení a
skladování



Nakládání



Mykání

Produkt

Trhanina, seřezané nitě, vlákna

Směs vložek primárního
a recyklovaného materiálu

Vláknenné vločky ve vzduchu

Vláknenné rouno

Vláknenná pavučina



Schéma výroby netkaných textilií s obsahem textilního odpadu

Příprava vláknenné vrstvy

- Mykání + příčné, nebo kolmé kladení
- Aerodynamické kladení
- Kombinace mykání s aerodynamickým kladením



Zpevnění vláknenné vrstvy

- Vpichování
- Kalandrování, lisování
- Zpevnění horkým vzduchem
- Proplétání



Finální úpravy

- Laminace
- Šití, svařování
- Povrstvování



Zpracován druhotných surovin technologií netkaných textilií:

1. Technologie netkaných textilií byla často původně určena pro zpracování odpadu, nebo surovin jinou technologií nezpracovatelných.
2. Technologie výroby netkaných textilií se dělí na skupiny: tvorba vláknenné vrstvy, zpevnění vláknenné vrstvy a finální úpravy.
3. V oblasti jednotlivých technologií výroby vláknenných vrstev odkazují na technologickou část skript „Netkané textilie“ (autoři: O. Jirsák, K. Kalinová), zejména na části týkající se mechanické přípravy vláknenných vrstev (mykání, aerodynamické kladení, kombinace obého, naplavování), zpevnění vláknenných vrstev vpichováním, proplétáním, kalandrováním, lisováním a horkým vzduchem.



Zpracování vláknenných odpadů přináší následující obtíže:

1. Velké množství prachu a nečistot vyžaduje větší míru odsávání mezi jednotlivými stroji i uvnitř jednotlivých strojů a následné čištění vzduchu.
2. Recyklované vláknenné suroviny mají horší vlastnosti (zejména pevnost) v důsledku poškození vláken při recyklaci a v případě sběrových textilií při původním užívání. Z toho důvodu je obvykle nutné odpadovou surovinu vhodně mísit se surovinou primární. Obvykle se udává, že podíl odpadové suroviny menší než 10 % nezhorší výrazně finální vlastnosti, což neplatí vždy.
3. Na povrchu recyklovaných vláken se mohou vyskytovat apretace, tedy různé olejové emulze, povrchově aktivní látky, barviva, finální úpravy atd..., které mohou výrazně snižovat koeficient tření vlákna i jeho adhezi k pojivu. Koeficient tření je klíčový pro pojení vrstev vpichováním a proplétáním, adheze pro termické pojení kalandrováním, lisováním, nebo horkým vzduchem. V obou případech dochází k menšímu propojení vláknenné vrstvy a tím k menší pevnosti textilie. Při termických procesech může navíc docházet k úniku dráždivých, případně toxických látek do vzduchu.
4. Poškození vláken a výskyt různých apretací na povrchu je značně proměnlivé. To vede ke kolísání kvality finálního výrobku, k nutnosti kvalitní kontroly a účinné a rychlé změny parametrů výroby.



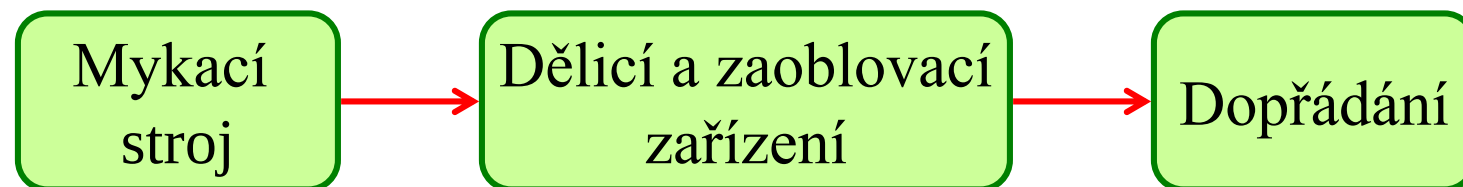
Přádelnický způsob zpracování druhotných surovin

1) Mykaná příze vigoňová, bavlněná

Složení vigoňové příze:

Druh vlákna	Podíl %
Viskózová stříž, 40 mm nebo 60 mm (jako „nosné“ vlákno)	10 - 30
Méněcenné, krátkovláknenné bavlny	20 - 40
Trhané a recyklované odpady (bavlněné nebo vlněné)	20 - 70
(Případně také:) lýková vlákna	20 - 25

Linka pro mykanou přízi





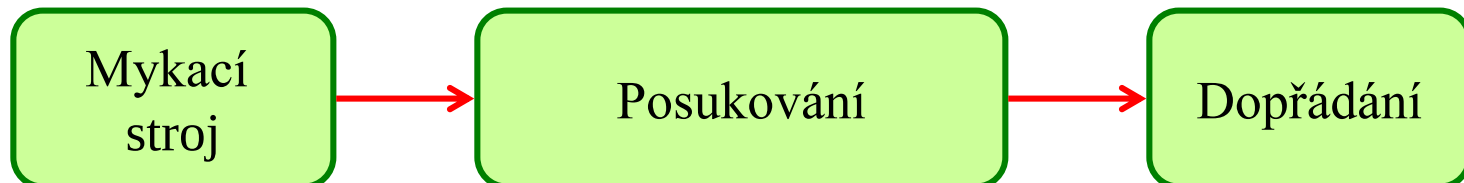
Vlastnosti a použití:

Většina přízí se vyrábí v rozmezí 100-1000 tex, výjimečně v jemnostech do 40 tex. Charakteristický je měkký omak, matný povrch s našedlým odstínem, velmi nízká pevnost v tahu (asi do 7 cN/tex) a velká nestejnoměrnost.

Použití pro méně náročné výrobky je velmi mnohostranné, příze jsou obzvlášť vhodné pro počesávané, hřejivé tkaniny a pleteniny. K nejpoužívanějším patří:

pletené zboží, zimní spodní prádlo, pracovní oděvy, podšívky, závěsy, přehozy, příkrývky, prachovky, hadry na čištění, potahy válců na různých strojích ...

2) Poločesaná příze



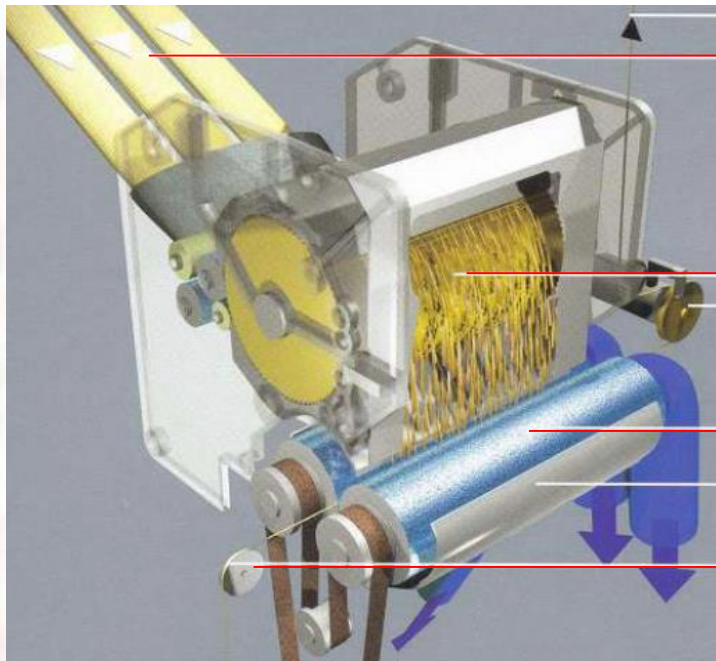
Tato příze má větší pevnost a vyšší stejnoměrnost, problémy s krátkými vlákny.

Dopřádací systémy:

Vhodné jsou frikční systémy DREF 2 a DREF 3, kde je možné kombinovat nosnou část jádra s obalem z odpadových vláken.

Princip:

Pramen vláken od mykacího stroje je přiváděn podávacím ústrojím k vyčesávacímu bubnu. Jednotlivá vyčesaná vlákna nese proud vzduchu kolem usměrňovacího kotouče mezi spřádací bubny. Oba bubny se otáčejí stejným směrem a perforací v jejich povrchu se odsává vzduch. Vlivem podtlaku a tření spřádacích bubnů se vlákna stáčí a napojují na otevřený konec příze, která se odvádí k navíjecímu ústrojí.



Pramen vláken

Vyčesávací buben

Spřádací bubny

Navíjení příze

2. Drcení a mletí:

- 1) Příprava drtě pro další technologické zpracování odpadu (regranulace, řízená depolymerace, spalování, pyrolýza, kompostování, skládkování). Struktura drtě umožňuje její přesné dávkování, míchání i směsování. Větší specifický povrch látky zvyšuje rychlost termických a chemických reakcí polymerů (tavení, hoření, depolymerace...)
- 2) Příprava jemných polymerních prášků kombinací drcení a mletí. V případech, kdy textilní, nebo polymerní odpad nelze zpracovat textilními technologiemi – velké množství pojiva, chemických přísad, zátěrů, nebo jiných (například pryžových) příměsí neumožňuje získat jednotlivá vlákna.





Zpracovávané materiály:

- Pneumatiky:

- 45 až 48 % elastomeru – NR (natural rubber) a BR (butadien rubber),
- 22 % sazí,
- 15 až 25 % oceli,
- 0 až 5 % textilu,
- 1 až 1,2 % ZnO, 1 % S, 0 až 0,2 % Se + Te a 6 až 8 % ostatních chemikálií

- Ostatní kaučukové materiály (hadice, těsnění, izolace, elektroinstalace...): NR (natural rubber), BR (butadien-rubber), SiR (silicone-rubber), SBR (styren-butadien-rubber), NBR (nitril-butadien-rubber)...

- Díly karoserie aut (car body parts):

Obvykle polymer, nebo kaučuk ve směsi s vlákny, pilinami, nebo jinými částicemi...

- Vlákenné kompozity (sport, letectví...): sklolamináty, uhlíkové kompozity.....

- Čalounění, autosedačky:

PUR ve směsi s jinými materiály (vlákna, dráty, tkaniny, pleteniny.).

- Koberce:

PA, PP, PU, wo.... Spojené se zátěrem (akrylátový, kaučukový)



Princip:

Mechanické působení kovových elementů tlakem a stříhem drtí odpad na menší kusy, drť, nebo prášek. Obvykle je nutné chlazení. Minimální velikost prášku 600 μm (konvenční drcení), respektive 100 μm (použití chlazení).

Chlazení je u polymerního odpadu obvykle nutné ze dvou důvodů:

- 1) Nepřekročit teplotu tání, jedná – li se o termoplastický polymer, nebo teplotu destrukce u termosetů (při mechanickém namáhání se každá hmota ohřívá).
- 2) Snížit teplotu pod bod skelného přechodu, kdy se polymer stává křehkým.

Polymer	PE	PP	PA6	PET	PVC	NR	BR
Teplota zesklenní °C	-120	-20	50	69	80	-70	-73
Teplota Tání °C	110- 130	170	215	256	- (190)	-	-



Stroje pro drcení a mletí:

Drtiče

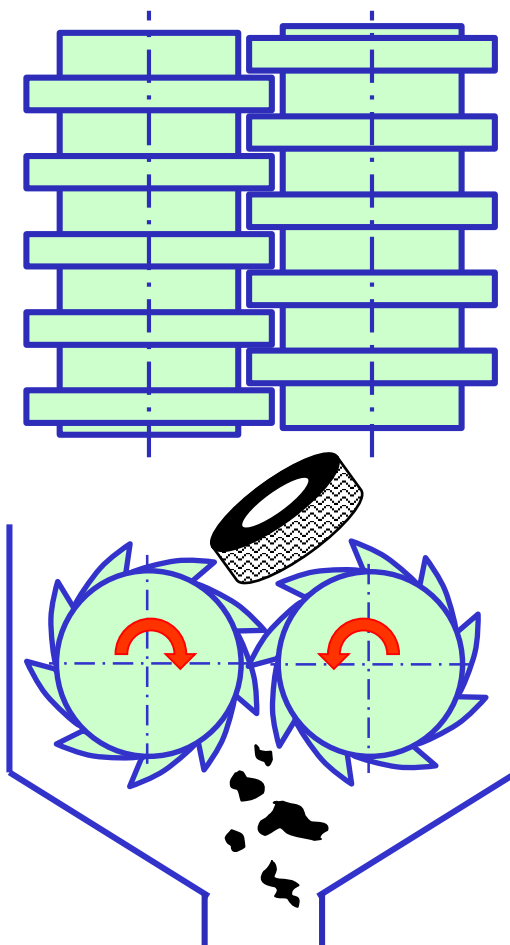
Použití:

Hrubé drcení velkých kusů odpadu na menší části cca desítky milimetru velké. Často jsou tyto stroje využívány také jako první stroj v různých linkách na zpracování odpadu - pro předdrcení odpadu před jeho drcením nebo mletím najemno.

Popis:

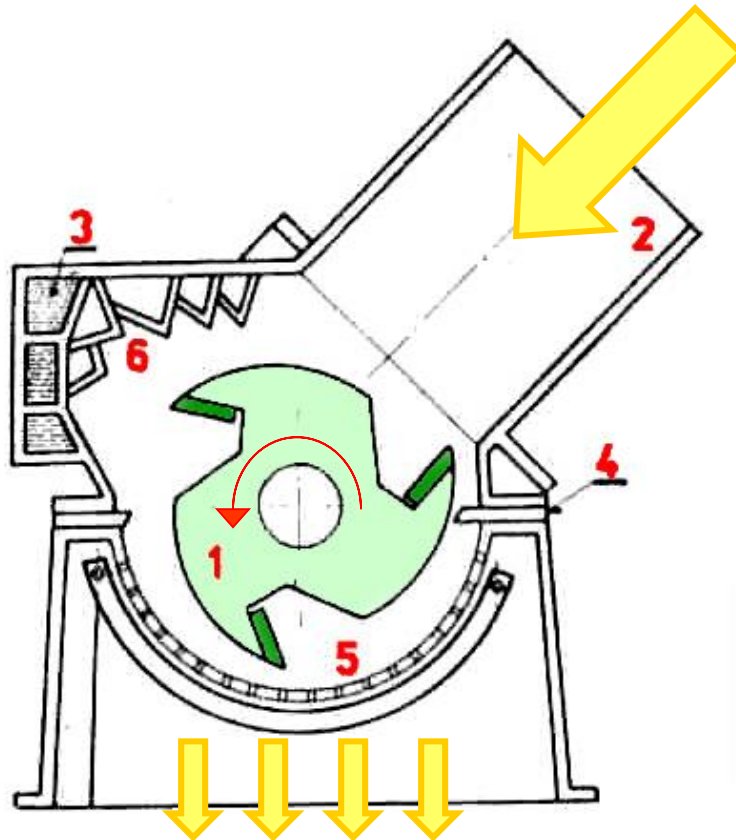
Obvykle jednohřídelové nebo dvouhřídelové drtiče stříhají a drtí materiál pomocí segmentů na hřídelích, které se pomalu otáčejí proti sobě. Výstupem z drtiče jsou proužky nebo kousky odpadu, jejichž velikost závisí na charakteru vstupního odpadu a na šíři segmentů. Dvouhřídelové drtiče jsou vhodné na drcení různých druhů odpadů, jako jsou plasty, karton, dřevo, laminát, pneumatiky, apod. V případě potřeby mohou být drtiče vybaveny přítlačným zařízením, které zajišťuje natlačení objemného odpadu mezi drtící segmenty.

Je možné chladit segmenty postřikem vody.



Nožové mlýny:

Jsou určeny pro textilní a pryžový odpad s menší tvrdostí. Při mletí dochází zejména k působení stříhových sil. Namletá drť propadává sítem, jehož hustotou je dána velikost částic. Pro další zpracování je transportována buď dopravníkem, nebo pneumaticky.



Popis:

1. Rotor s noži
2. Násypka na předrcený odpad
3. Chlazení
4. Statický protinůž
5. Síto

3. Regranulace

V případě, kdy termoplastický polymerní odpad nelze zpracovat klasickými textilními technologiemi. Není vhodné pro polymerní směsi. Podmínka monokomponentního odpadu je dána především rozdílnou teplotou tání (resp. teplotou degradace) a rozdílnou reologií taveniny různých polymerů.

Materiály:

- PP
- PE (HDPE, LDPE)
- PET
- PMMA
- PC
- ABS
- EVA

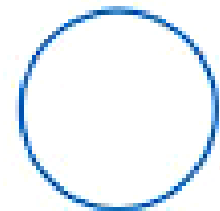
Flake

typically preground
with 12mm screen,
wall thickness
approx. 400 micron



Pellet

Typical dimensions:
2.5 x 2.7 x 3mm



Příklady zdrojů:

- „Strunový odpad“ – odpad vzniklý při změnách v procesu vytlačování, nebo zvlákňování polymeru. Obvykle při náběhu výroby, kdy může vzniknout nárazově až několik tun odpadu.
- Procesní odpady, např. ořezy, odseky, vlákna, pásy, vadné meziprodukty....
- Použité materiály, například PET lahve, obaly....





Princip:

- Tříděný polymerní odpad je nejprve rozdrcen, drť dále mleta, míchána, sušena (případně vakuována), tavena, vytlačena tryskou a sekána na polymerní granule, které jsou dále míseny s granulemi primárního polymeru . Tavenina může být čištěna a zbavována vzduchu.
- Podmínkou (ne vždy nutnou) je zpracování monokomponentního polymeru, nebo směsi polymerů navzájem kompatibilních. Důvody problémů při zpracování směsi jsou:
 1. Odlišné teploty tání a degradace, kdy např. při nastavení teploty tání polyesteru může materiál z polypropylenu degradovat
 2. Odlišné viskozity taveniny v závislosti na teplotě, které jsou u jednotlivých polymerů odlišné. Při dávkování může docházet k oddělování jednotlivých složek, kdy šnekový podavač přednostně dávkuje složku s vyšší viskozitou.
 3. Nekompatibilita jednotlivých složek může vést k špatnému propojení a následně nedostatečným mechanickým vlastnostem.



Výhody:

☺ **Jednoduchá, relativně levná metoda** v porovnání s depolymerací i způsoby textilními. V rámci jedné linky je buď vyrobena surovina ve formě granulí, nebo přímo výrobek (vlákna, výlisky).

☺ **Možnost zpracování libovolné formy odpadu** - vlákna, textil, struny, pásy, jednotlivé plastové výrobky (lahve, obalový materiál...) atd...

☺ **Vysoká variabilita finálního použití.** Výsledkem procesu jsou granule použitelné pro výrobu libovolného výrobku formou vstřikování, nebo zvlákňování.

Nevýhody:

☹ **Velká citlivost na přítomnost příměsí** – nutnost kvalitního třídění a čištění vstupní suroviny.

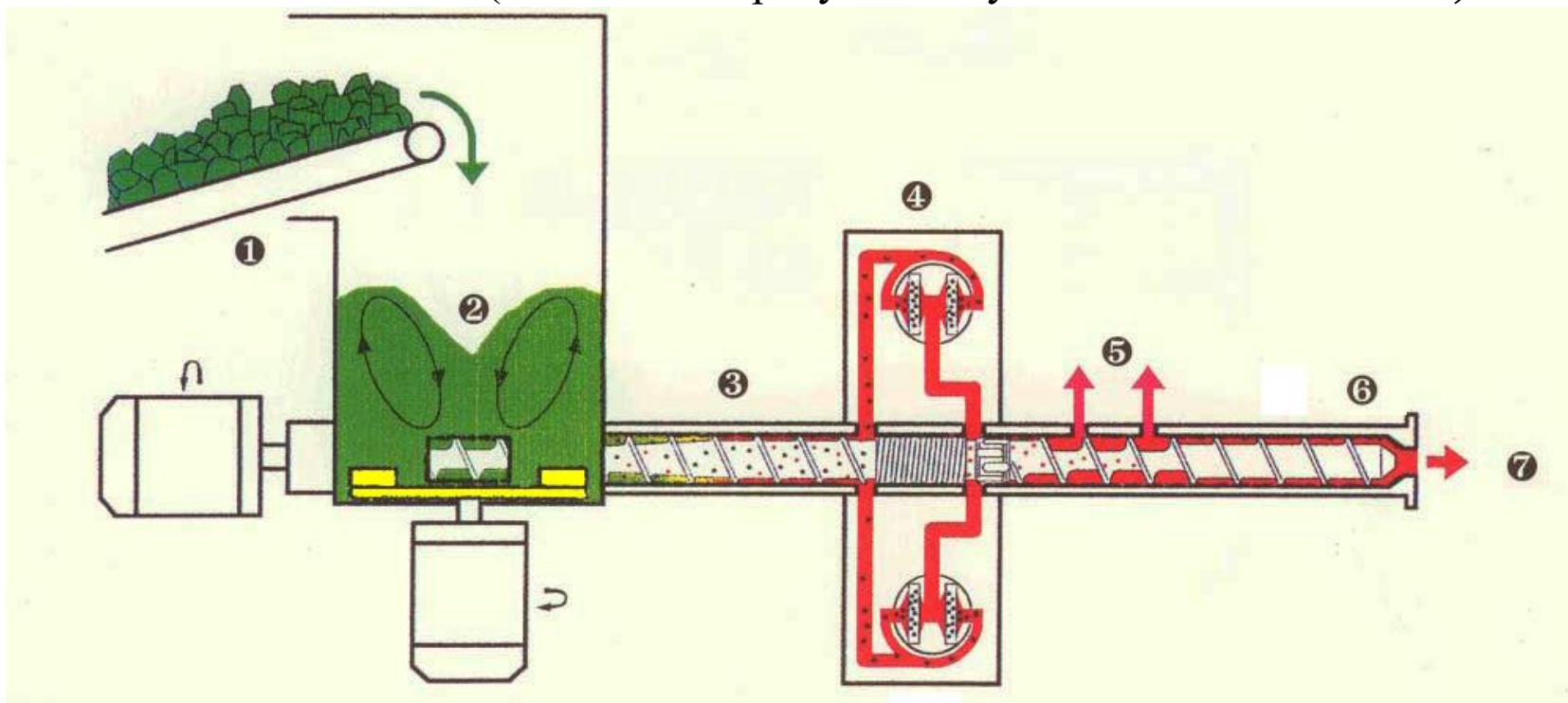
☹ **Možnost zpracování pouze termoplastických polymerů**

☹ **Tepelná degradace polymeru** v průběhu tavení způsobuje velmi variabilní zkracování polymerních řetězců, následnou změnu reologie taveniny a tím i změnu zpracovatelských vlastností, dále i mechanické vlastnosti výsledného výrobku. Změnu vlastností taveniny lze řešit změnou parametrů zpracování, problémem zůstává vysoká variabilita změn.

Technologie zpracování

Vytríděný rozdrcený materiál je dopraven (1), v násypce sušen a nožovými mlýny rozemlet (2), ve vyhřívaném extrudéru (šneku) roztaven, míchán a zhutněn (3), za pomoci filtrů zbaven nečistot (4), separačními membránami zbaven bublinek vzduchu (5) tryskami vytlačován (6), sekán na granule a chlazen (7). Granule jsou přidávány ke granulím primárního polymeru a zpracovány buď formou zvláknění, nebo v plastikářském průmyslu. Variantou je i přímé zapojení regranulační linky přímo do procesu zvláknování, nebo vstřikování.

(informace čerpány od firmy Erema: www.erema.at)





4. Chemická recyklace

- Proces, při němž se rozkladem druhově tříděného polymerního odpadu na nízkomolekulární sloučeniny chemickými procesy vyrábí nový materiál (ČSN 64003).
- Proces, kde se chemická struktura polymeru mění a převádí na chemické stavební bloky včetně monomerů, které se poté znovu využijí jako surovina v chemických procesech (European Chemical Industry Council).

Technologie chemické recyklace

- Rozpouštění** – čištění rozpouštěním a následné odstranění rozpouštědla – vhodné pro PVC a pěnový PS.
- Chemická depolymerizace** – rozklad polymerů na monomery chemicky. Vhodné pro PES, PS, problém s čistotou produktů a meziproductů.
- Termická depolymerace** – termický rozklad pyrolýzou (příp. plazmou) vede k tvorbě směsi uhlovodíků, tzv. pyrolýzního oleje. Ten lze použít jako palivo (není chemická recyklace), nebo dále čistit na chemické produkty a monomery.
- Zplyňování**, neboli kombinace termické a chemické depolymerace – Působením horkého plynu (vzduch, kyslík, H_2O , CO_2 , H_2 ...) lze získat hořlavé plyny na bázi metanu, nebo ethanol/metanol (není chemická recyklace) a následně čistit produkty.

Druhy odpadu dle materiálu:

- PVC
- PS pěnový
- PET (PES)
- PP
- HDPE, LDPE
- PU(?)
- PMMA (?)



Druhy odpadu dle původu:

- Směsný plastový odpad průmyslový i použitý
- Výměty z třídících linek odpadního plastu
- Pěnový polystyren používaný jako tepelně-izolační výplň budov
- Obtížně recyklovatelné PET lahve



Výhody:

☺ **Velká efektivnost recyklace.** Polymer vyrobený z recyklovaných monomerů může mít téměř stejné vlastnosti jako polymer primární (panenský).

☺ **Možnost zpracování libovolné formy odpadu** - vlákna, textil, struny, pásy, jednotlivé plastové výrobky (lahve, obalový materiál...) atd...

☺ **Možnost zpracování znečištěného a směsného polymeru.** Např. u PET lahví etikety a PP víčka.

☺ **Vysoká variabilita finálního použití.** Výsledkem procesu jsou monomerní látky použitelné pro přípravu polymeru a dalších látek a uhlíkatý zbytek s vysokou čistotou, který je použitelný v mnoha odvětvích.

Nevýhody:

☹ **Komplikovaný a drahý proces**

☹ **Použití toxických látek při recyklaci**

☹ **Možnost zpracování pouze některých polymerů**

☹ **Spotřeba energie**

5. Spalování

Rozdrcený materiál je termicky rozložen zejména na vodu (forma páry) a CO_2 , Mezi další emise se řadí:

- emise plynné: CO , NO_x , SO_2 , plyných uhlovodíků...
- emise pevné: saze, prachové částice, popel.

Obvykle je rozklad prováděn nejprve pyroliticky, poté za přístupu kyslíku. Výstupem je energie ve formě tepla částečně využitelná pro výrobu energie elektrické.

Použití:

V případě, kdy polymerní odpad nelze, nebo není vhodné zpracovat mechanickými technologiemi, drtit, regranulovat, ani depolymerovat. Vhodné zejména pro **obtížně rozebratelné polymerní směsi**. Obvykle používáno pro netříděnou část komunálního odpadu, nebo pro vybrané části odpadu průmyslového (například pneumatiky).





Výhody a nevýhody:

Výhody:

- Odpad může mít různou velikost i složení (pneumatiky nutno drtit)
- Vysoké spalné teplo polymerních látek lze využít k výrobě elektřiny, pro průmyslové procesy i pro vytápění
- Využití pevných zbytků v případě spalování pneumatik. Vzniká cca 5 – 7 % popela, který je zabudován do pevných roztoků slínekových minerálů.



	Výhřenost (MJ/kg)
Palivo	
Tvrdé dřevo	16
Lignit	10
Hnědé uhlí	14-17
Černé uhlí	23-28
Koks otopový	27-30
Vodík	95,5
Benzín	42,7
Metan	49,6
Jaderné palivo (Temelín)	3900000
Polymery	Výhřenost (MJ/kg)
Polyethylen	48
Polypropylen	43
Polyester	25
Polyamid 6.6	31
pneumatika (SBR,BR,NR)	25 - 30

Spalná tepla vybraných fosilních paliv a polymerů.

Zdroj: HEATS OF COMBUSTION OF HIGH TEMPERATURE POLYMERS. Richard N. Walters*, Stacey M. Hackett* and Richard E. Lyon

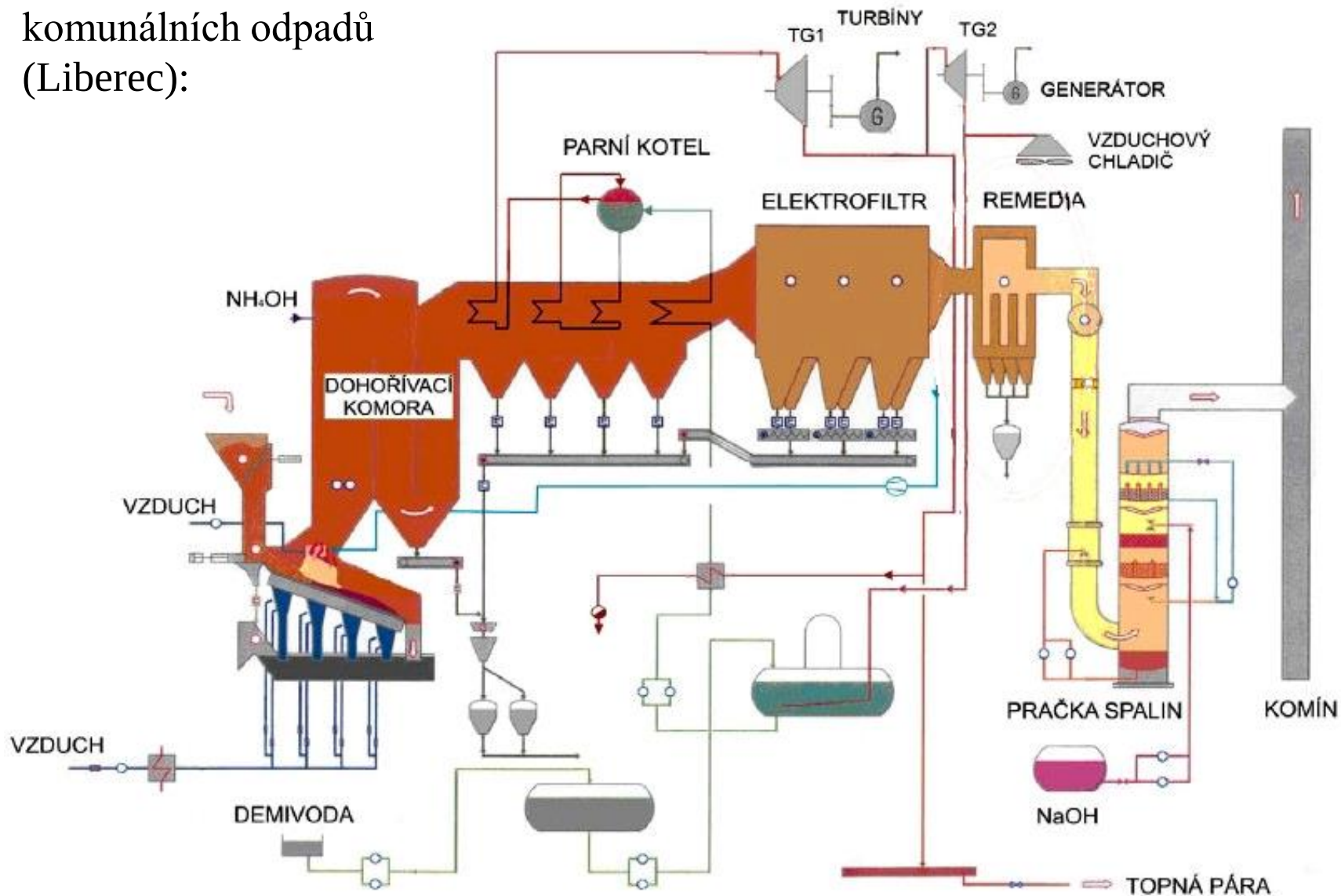


Nevýhody

- Nutnost monitoringu a eliminace nebezpečných emisí
 - Záchyt plynných emisí a prachových částic
 - Skládkování pevného zbytku
- Relativně drahý provoz z důvodu zajištění bezpečnosti
- Nemožnost snížení produkce tepla, neboť proces spalování musí probíhat za přesně stanovených podmínek. Nesmí například dojít ke snížení teploty, neboť by došlo po překročení rosného bodu k tvorbě koncentrovaných kyselin (např. H_2SO_4) a následné destrukci spalínového systému.
- Pouze část tepelné energie lze využít pro výrobu elektřiny.
- Emise CO_2



Základní schéma spalovny
komunálních odpadů
(Liberec):



[zdroj: [4] Doucha J., Straka F., Lívanský K. Utilization of flue gas for cultivation of microalgae (Chlorella sp.) in an outdoor open thin-layer photobioreactor. J Appl Phycol 17: 403-412, 2005:

6. Skládování

Uložení odpadu v rámci „Řízených skládek“ a zajištění bezpečnosti proti úniku kapalných látek do okolního prostředí a proti případnému výbuchu, nebo požáru. Odpad lze využít pouze částečně – biologickou degradací a následným využitím vzniklých organických produktů jako paliva.



Oblast použití:

Stejně jako u spalování v případě, kdy polymerní odpad nelze, nebo není vhodné zpracovat mechanickými technologiemi, drtit, regranulovat, ani depolymerovat. Vhodné zejména pro **obtížně rozebratelné polymerní směsi**. Polymerní a textilní odpady mohou být součástí Komunálního odpadu, výjimečně též odpadem průmyslovým.



Podmínky stavby řízené sklárky:

Hydrologicko-geologický průzkum

Umístění mimo pásma hygienické ochrany vodních zdrojů

Umístění mimo pásma přírodních léčivých zdrojů a přírodních minerálních stolních vod

Umístění mimo pásma inženýrských sítí

Umístění mimo zvláště chráněná území a kulturní památky

Vzdálenost skládek od trvale obydlených objektů, nemocnic, objektů občanské vybavenosti a rekreačních objektů se doporučuje nejméně 500 m, je však třeba ji individuálně posoudit. Je také nutno přihlížet ke směru převládajících větrů a k umístění sklárky a s ní spojených objektů v terénu.



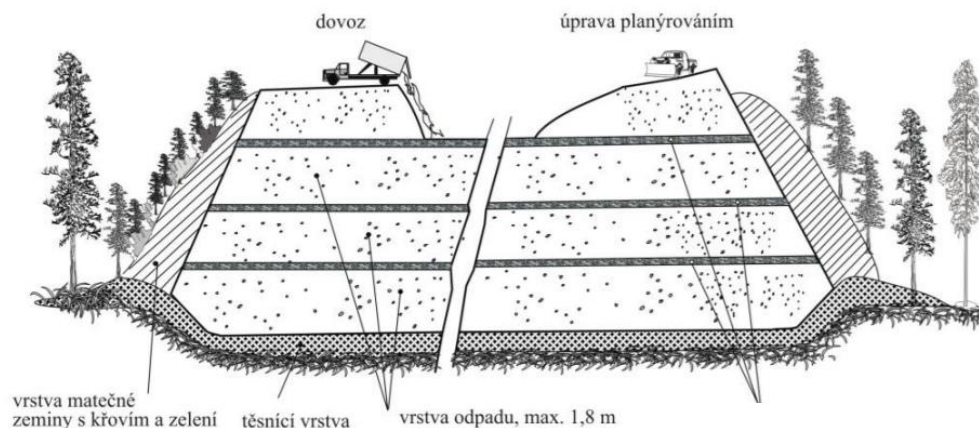
Druhy řízených skládek



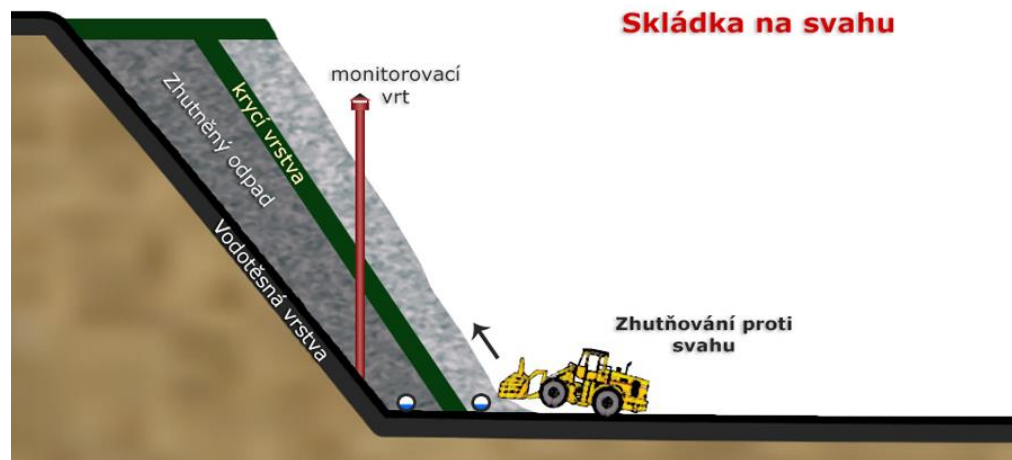
a) Podúrovňová



b) Nadúrovňová



c) Svahová





Využití skládkového plynu

- Každá skládka komunálního odpadu vytváří značné množství skládkového plynu (přibližně 100 - 250 Nm³ z jedné tuny uloženého komunálního odpadu).
- Z tohoto množství lze zachytit pouze část této produkce skládkového plynu a to v rozmezí 20 - 70 % (nejčastěji se uvádí údaj 30 %).
- Nejvíce skládkového plynu se vyvíjí v rozmezí 5 - 13 let od doby uložení na skládku a to po patřičném zhutnění. V menší míře se ovšem vyvíjí skládkový plyn již po několika měsících od uložení na skládku a k nepatrnému vývinu skládkového plynu dochází vlastně po celou dobu životnosti skládky, která se uvažuje až 30 let.
- Postupné ubývání dostupného kyslíku v tělese skládky aktivizuje společenstva acidogenních (kyselinotvorných) bakterií, které začínají vytvářet oxid uhličitý (CO₂) a mastné kyseliny. Tento přechod není náhlý, ale je zahájen samovolně a je postupný. Průsakové vody jsou v této acidogenní fázi znečišťovány rovněž vysokým obsahem těžkých kovů, protože agresivní mastné kyseliny rozpouštějí kovové části obsažené v odpadu.



7. Biologický rozklad odpadů

Jedná se o rozklad polymerů působením biologických činitelů. Tento proces využívá přírodní bakteriální kmeny, které umožňují přirozený rozklad kontaminantu a to až na neškodné produkty - oxid uhličitý a vodu. Jde o speciální bakterie, které jsou schopny zpracovat nežádoucí organické sloučeniny jako zdroj uhlíku a energie pro svůj růst.

V současné době je popsáno přes 200 druhů mikroorganismů, které jsou schopny rozkládat uhlovodíky. Některé jsou schopny využívat pouze jediný uhlovodík, ale prozatím není znám mikrobiální kmen, který by odbourával celou škálu uhlovodíků přítomných např. v surové ropě. Proto se na degradaci podílí spíše mikrobiální společenství.

Degradační procesy, ve kterých mikroorganizmy využívají organické látky, mohou být aerobní i anaerobní.





Podmínky biologického rozkladu

- **Existence organismu**, který produkuje vhodné enzymy pro uskutečnění určité cílené biodegradace. Takto vybavený organismus musí být přítomný v kontaminovaném prostředí. Je známo, že mikroorganismy osidlují prakticky každé fyziologicky vhodné prostředí, avšak nemusí být vždy přítomen organismus s vhodným enzymatickým vybavením.
- **Fyzikální dostupnost rozkládané látky** pro organismus s vhodným katabolickým potenciálem. Je známa celá řada organických látek, které v prostředí odolávají rozkladu i za přítomnosti degradujících mikroorganismů, neboť jsou nerozpustné ve vodě či sorbované na pevné povrchy.
- **Možnost penetrace látky, nebo transformačních produktů buněčnou membránou**. Biodegradace bývá uskutečňována jak extracelulárními, tak i intracelulárními enzymy.
- **Fyziologické podmínky** vhodné pro množení aktivních organismů. Populace nebo biomasa degradujících bakterií či hub osidlujících přirozené prostředí bývá pro uskutečnění biodegradace nebo transformace látek často nedostatečná.
 - Teplota
 - Vlhkost
 - Kyslík, nebo jiné plyny
 - pH

1) Likvidace nebezpečných látek

A) Likvidace nebezpečných látek v odpadech.

- zeminy, stavební sutě a kaly znečištěné ropnými a organickými polutanty,
- odpady z dlouhodobě znečištěných míst, z havarijních úniků a různých typů zařízení (gravitační odlučovače, lapoly, sedimentační nádrže, kalová pole atd.),
- kaly kontaminované ropnými látkami z usazovacích nádrží mycích ramp, kaly z čistíren apodobně - oddělujících ropné olejovité složky od odpadních vod nebo rozbíjejících stabilní emulze (při mytí aut atd.),

B) Sanace kontaminovaných půd a vod.

Polutant	Počet lokalit*
Blíže nespecifikované ropné látky	982
BTEX	313
PAU	451
Chlorované uhlovodíky jiné než PCB	421
PCB	341
Pesticidy	162

* Lokalita může být znečištěna několika různými polutanty
[8]

Tab.1: Evidence kontaminovaných míst []

2) Kompostování

Využívání biologicky rozložitelných zdrojů, které jsou za kontrolovaných podmínek aerobních procesů přeměňovány na kompost.

Odpad vhodný ke kompostování:

- odpad z údržby zeleně (tráva, listí)
- zbytky potravin (ovoce, zelenina)
- odvodněné kaly z ČOV
- odpady z potravinářské výroby
- zemědělské produkce (seno, sláma)
- minerální odpad (zemina, písek)
- dřevní hmota (ořezy dřevin, větve, klestí, palety, stavební dřevo, nábytek, piliny, "vše ze dřeva").





3) Bioplynové stanice

Jde o uvolnění nebo transformace energie vázané chemicky do využitelné formy, buď ve formě elektřiny, tepla nebo paliva. Do této kategorie lze zařadit i produkci bioplynu, která se u nás donedávna vztahovala především k odplynování skládek komunálních odpadů a stabilizaci čistírenských kalů na ČOV. Tento potenciál je z větší části (80 %) využit. Velký rozvoj nyní zaznamenává produkce bioplynu pomocí anaerobní metanové fermentace organických látek.

Výhřevnost bioplynu s obsahem 55-70 % metanu leží v rozsahu 18-26 MJ/m³ čili 5-7,2 kWh/m³.

Zdroje materiálu:

- průmyslové odpady,
- komunální odpady,
- odpadní vody,
- čistírenské kaly,
- odpady ze zemědělství,
- cíleně pěstovaná biomasa,
- kombinace.





Zdroje:

- [Merian, 1975]: Merian, E.: Umweltprobleme und Umweltforschung in der Textilindustrie. Textilveredlung 10, Nr. 6, 1975
- [Gee, 1950]: Shoddy and Mungo Manufacture, by N.C.GEE, F.T.I., Manchester: EMMONT&CO limited, 1950.
- [Waste, X/Y] ODPADY: Odborný časopis pro nakládání s odpady a životní prostředí. X: číslo, Y: ročník, Economia a.s., ISSN: 1210-4922 MK ČR 6330.
- [Act 185/2001] Act Nr. 185/2001 Sb. 2001, 71, 14.6.2001.
- [ES, 2008/98] DIRECTIVE 2008/98/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 November 2008.
- [Vörös, 2014] Vörös, F.: Aktuální údaje o plastech a využití plastových odpadů. TZB info.
- [Geyer at al., 2017] Geyer R., Jambeck J.R., Lavender Law K.: Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances 19 Jul 2017: Vol. 3, no. 7, e1700782 DOI: 10.1126/sciadv.1700782