

Skleněné a PET lahve na minerální vody: posuzování životního cyklu

Monika Příbylová

Hnutí DUHA – Přátelé Země ČR
Hnutí DUHA Olomouc



Obsah:

1. Úvod	5
Poděkování	5
Seznam zkratk	5
2. Princip metody LCA	6
2. 1. Stanovení cíle a vymezení rozsahu	6
2. 2. Provedení inventarizační analýzy životního cyklu	7
2. 3. Hodnocení dopadů životního cyklu	7
2. 4. Problémy a omezení aplikace metody LCA	8
3. LCA PET a skleněných lahví na minerální vody: první fáze	8
3. 1. Životní cykly hodnocených obalů	9
3. 2. Stanovení funkční jednotky	11
3. 3. Vymezení rozsahu sledovaných obalových systémů	11
3. 4. Posuzované toky	14
3. 5. Vstupní informace analýzy	15
3. 6. Předpoklady stanovené pro studii LCA	16
4. Inventarizační analýza	17
4. 1. Analýza systému životního cyklu skleněných lahví	17
4. 1. 1. Těžba a zpracování surovin na výrobu skloviny	18
4. 1. 2. Výroba skloviny a skleněných lahví	21
4. 1. 3. Mytí a plnění skleněných lahví	25
4. 1. 4. Převaha skleněných lahví	28
4. 2. Analýza systému životního cyklu PET lahví	31
4. 2. 1. Výroba PET granulátu	31
4. 2. 2. Výroba PET lahví	33
4. 2. 3. Plnění PET lahví	35
4. 2. 4. Převaha PET lahví	36
4. 2. 5. Spotřeba PET lahví a nakládání s použitými PET lahvemi	39
5. Dosažené výsledky	42
5. 1. Postup agregace a přepočtů údajů z dílčích inventarizačních matic	42
5. 2. Sumární inventarizační matice skleněných lahví	42
5. 3. Sumární inventarizační matice PET lahví	48
6. Hodnocení životních cyklů	55
6. 1. Výběr a definice kategorií vlivů	55
6. 2. Klasifikace	56
6. 3. Charakterizace	57
6. 3. 1. Standardizace	58
6. 4. Celkové zhodnocení a porovnání	60
Závěr	64
Seznam literatury	65

1. Úvod

Zhroucení trhu s vratnými lahvemi v říjnu 1999 obrátilo pozornost ke kvalitám různých druhů nápojových obalů. Průmysl, který za rozpad zálohového systému nese primární odpovědnost, zlehčuje situaci poukazy na nepříliš významný ekologický rozdíl mezi vratnými skleněnými a nevratnými PET lahvemi. Cílem této studie je proto posouzení životního cyklu (Life Cycle Assessment, LCA) obou druhů lahví a jejich srovnání z hlediska vlivu na životní prostředí.

LCA se zabývá posuzováním dopadu na životní prostředí nejen během všech činností nutných k výrobě určitého výrobku, ale i všech dalších činností spojených se spotřebou a následným zneškodněním či využitím výrobku.

Předkládaná studie je upravenou verzí diplomové práce Ing. Moniky Příbylové „LCA - Posuzování životních cyklů obalů na minerální vody (PET a sklo)“, VŠE v Praze, 1999. Autorka jednak zkrátila teoretickou část a jednak ve veškerých výpočtech změnila přepravní vzdálenost z původních 100 km na 300 km. Výsledky studie tak lépe odpovídají současné situaci v ČR. Ing. Monika Příbylová získala cenu Karla Velka za nejlepší diplomovou práci v oblasti odpadového hospodářství. Celý text diplomové práce je dostupný na internetové adrese www.ecn.cz/spotrebitel.

V ČR nebyla dosud publikována žádná prakticky provedená analýza životního cyklu některého konkrétního výrobku. Studie se proto ve své metodice musela nezbytně opřít o zahraniční zkušenosti a rámcový postup stanovený v ISO 14040.

Poděkování

Dík za vstřícnost a ochotu poskytnout požadované informace patří vedoucí diplomové práce Ing. K. Remtové, Csc., vedoucím a technologickým pracovníkům níže uvedených podniků a asociací: Association of Plastic Manufactures in Europe (APME), Avirunion a.s., ČSAD Nymburk, Eastman Chemical Company (USA), Gypstrend s.r.o., Eko-Kom s.r.o., H(C Recyklace surovin spol. s r.o., Keramost a.s., Lhoist s.r.o., Marienbad Waters a.s., Oleopet a.s., PETCORE Association - PET container recycling Europe, Poděbradka s.r.o., Provodínské písky a.s., S.I.P.I. Srl. (Itálie), Transform a.s. Lázně Bohdaneč, Transform a.s. Stod u Plzně, Vetropack Moravia Glass a.s.

Některé společnosti, které laskavě poskytly údaje pro tuto studii, nesouhlasí se zveřejněním svého jména, proto výše uvedený seznam podniků není úplný. Všechny zúčastněné firmy, jsou v textu označovány náhodně vybranými písmeny A-V.

Seznam zkratk:

AMPE - Association of plastic manufactures in Europe, Asociace evropských výrobců plastů
ČOV - čistírna odpadních vod
KO - komunální odpad
LCA - Life cycle assessment - posuzování životního cyklu
Loppa - upravená vysokopecní struska
NA - not available - nedostupné informace (v tabulkách)
PE - polyethylen
PES - polyester
PET - polyethylentetraftalát
PP - polypropylen
PVC - polyvinylchlorid
DMT - dimethyltereftalát
varianta A - varianta popisující toky spojené se zpracováním surovin pro výrobu skla a s výrobou skleněných lahví ve sklárně A
varianta B - varianta popisující toky spojené se zpracováním surovin pro výrobu skla a s výrobou skleněných lahví ve sklárně B
varianta M - varianta popisující toky spojené s plněním lahví v podniku MŽP - životní prostředí.

2. Princip metody LCA

Posuzování životního cyklu (LCA) je metoda na posouzení enviromentálních aspektů a dopadů spojených s výrobkem pomocí:

- zpracování inventury důležitých vstupů a výstupů z výrobního a spotřebního systému,
 - vyhodnocování možných dopadů na životní prostředí spojených s těmito vstupy a výstupy,
 - interpretace výsledků inventarizační analýzy a fází posuzování dopadů ve vztahu k cílům studie.
- Smyslem posuzování životního cyklu je určit rozsah a velikost vlivů výrobku na životní prostředí po celou dobu jeho životního cyklu a následně podpořit upřednostňování výrobků s prokazatelně nižším negativním vlivem, popř. zjistit místa způsobující negativní dopady a snažit se nalézt řešení k jejich snížení. Posuzování životního cyklu se tak stává nástrojem, který může významně přispět k pozitivní změně vzorců spotřeby a výroby. Životní cyklus zahrnuje všechny vzájemně provázané procesy - etapy života výrobku.

Předmětem posuzování jsou látkové a energetické toky - vstupy a výstupy spojené s životním cyklem výrobku. Vstupy představují veškerou energii, suroviny, materiály potřebné pro zajištění jednotlivých etap životního cyklu daného výrobku. Výstupem jsou výrobky, vedlejší produkty, odpad z výroby, emise do ovzduší a vody a energetické emise (hluk, světlo, teplo, vibrace a záření). Do posuzování se zařazují i vlivy způsobené dopravou spojující jednotlivé procesy.

Výsledkem posuzování může být zjištění celkového působení životního cyklu výrobku na životní prostředí podle daných kritérií a nalezení oblastí s maximálním negativním dopadem.

Pokud analyzujeme více konkurenčních výrobků, výsledkem může být porovnání celkového působení životních cyklů sledovaných výrobků. Závěrečnému posuzování předchází dílčí srovnání konkurenčních výrobků podle jednotlivých kritérií.

2. 1. Stanovení cíle a vymezení rozsahu

Stanovení cíle a vymezení rozsahu závisí na účelu prováděné analýzy a způsobu použití. Cíl studie by měl jasně vyjadřovat zamýšlené použití, důvody, proč je studie prováděna a komu je určena.

Stanovení rozsahu studie představuje přesné vymezení zkoumaného systému a určení všech toků propojujících systém s životním prostředím. Rozsah má být dostatečně dobře stanoven, aby bylo zajištěno, že šíře, hloubka a podrobnosti studie jsou v souladu se stanovenými cíli. LCA je interaktivní metoda, která vyžaduje neustálé konfrontace, aby byly splněny cíle analýzy.

Při stanovení rozsahu studie LCA je nutné určit:

- funkci výrobního systému a s ním související funkční jednotku. Například při porovnání nápojových obalů je funkční jednotkou určitý objem nápoje.
- posuzované výrobní systémy a jednotlivé procesy, které dané systémy obsahují
- hranice výrobních systémů. Hranice určuje, které jednotkové procesy musí být do inventarizační analýzy zahrnuty a tím i materiálové a energetické toky, jež mají vliv na životní prostředí.
- použité alokační postupy. Alokační postupy představují rozdělení energetických a materiálových toků mezi základní procesy životního cyklu výrobního systému.
- hodnocené toky u jednotlivých výrobních systémů
- rozsah potřebných informací
- požadavky na kvalitu údajů. Kvalitativní požadavky se týkají geografického, časového a technologického rozsahu, přesnosti, kompletnosti a reprezentativnosti údajů, adekvátnosti a reprodukovatelnosti použitých metod analýzy a posuzování, zdrojů údajů a nejistoty informací.
- případné alternativy zahrnuté do analýzy
- možnosti zahrnutí výjimek a nepravidelností způsobených narušením chodu procesů
- způsob posouzení vlivu výrobních zařízení, budov a služeb spojených s hodnoceným výrobkem
- možnosti nezahrnutí některých částí etap životního cyklu. Pokud je systém velice komplikovaný, lze jej vynecháním určitých méně významných detailů zřehlednit s minimálním vlivem na výsledek.
- způsob zahrnutí propojení s předchozími anebo následnými životními cykly. Vzniká-li při recyklaci výrobek s jinými funkcemi, je potřeba stanovit procesy, které budou předmětem LCA.
- způsob porovnání ekvivalentnosti systémů ve srovnávacích studiích

2. 2. Provedení inventarizační analýzy životního cyklu

Inventarizační analýza obsahuje sběr dat, jejich zobrazení, posouzení jejich kvality a matematický přepočet číselných údajů na stanovenou funkční jednotku.

Prvním krokem inventarizační analýzy je schematické znázornění všech materiálových a energetických toků působících ve studovaném systému v celém životním cyklu. Životní cyklus složitějšího systému je vhodné rozdělit na několik subsystémů podle jednotlivých etap cyklu.

Po určení jednotlivých materiálových a energetických toků následuje systematické shromažďování konkrétních údajů. Údaje o vstupech obsahují informace o spotřebě surovin, materiálů a energie. Údaje o výstupech udávají informace o vnášení látek a energií do ovzduší, vody a půdy, včetně způsobu nakládání s tuhými a kapalnými odpady.

Výsledkem inventarizační analýzy je inventarizační matice, tj. kvalitativní a kvantitativní soupis všech vlivů - vstupů a výstupů, kterými daný systém působí na životní prostředí v rámci stanoveného rozsahu. Jednotlivá data obsažená v této matici jsou převedena výpočetními postupy na danou funkční jednotku.

2. 3. Hodnocení dopadů životního cyklu

Fáze hodnocení dopadů LCA je zaměřena na vyhodnocení důležitosti vlivů zjištěných v inventarizační analýze. Hodnocení zahrnuje spojení jednotlivých dat z inventarizačních matic se specifickými kategoriemi dopadů na životní prostředí a následné vyhodnocení jednotlivých dopadů v závislosti na zvolených kritériích. Výsledkem je stanovení celkového negativního dopadu jednotlivých systémů z hlediska kvantity a kvality. Při porovnávací studii je v závěru hodnocení provedeno porovnání vlivů sledovaných výrobků na životní prostředí.

Výběr a definice kategorií vlivů

Nejprve jsou všechny vlivy zjištěné v inventarizační analýze rozděleny do jednotlivých kategorií, podle nichž bude probíhat následné hodnocení. Základní kategorie dělí působení sledovaného cyklu z hlediska látek a energií vypouštěných do životního prostředí a z hlediska odběru látek a energií ze životního prostředí, popř. z hlediska záboru půdního fondu.

Vypouštěné látky se dělí na tuhé odpady a emise do ovzduší a vody. Emise energií jsou způsobeny úniky tepla, hluku, vibracemi a zářením. Vypouštěné látky a energie způsobují následné efekty jednoho či více řádů, například znečištěné ovzduší působí na zdraví obyvatel, výnosnost půdy, aj. Navíc se efekty emisí různě vzájemně kombinují, zesilují nebo zeslabují. Z hlediska globálního působení jsou rozhodující kategorie vlivů způsobujících rozrušování ozónové vrstvy a kategorie vlivů způsobujících skleníkový efekt.

Kategorie odběru látek popisují spotřebu primárních surovin (obnovitelných a neobnovitelných) a využití druhotných surovin.

Klasifikace

Tato část hodnocení spočívá v rozdělení vlivů na životní prostředí zjištěných inventarizací do jednotlivých kategorií dopadů. Při klasifikaci je důležité rozdělit složené vlivy (např. spotřeba energie) na vlivy jednoduché (např. emise vzniklé při výrobě energie). Výsledkem klasifikační fáze je přehled všech vlivů, jimiž studovaný systém působí na životní prostředí.

Charakterizace

Při charakterizaci se nalezené efekty posuzují z kvantitativního hlediska pomocí modelování inventarizačních údajů uvnitř jednotlivých kategorií dopadů. Charakterizace se skládá ze standardizace a normalizace.

Pomocí standardizace se příspěvky dílčích vlivů v jednotlivých kategoriích převádí na společný základ - standard. K tomuto účelu je stanovena ekvivalentní jednotka, na kterou se hodnoty jednotlivých kategorií přepočtou. Hodnoty lze nejnázorněji převést pomocí koeficientů odrážejících jejich poměr k vybranému standardu. Standardy zobrazují velikost škodlivých dopadů, ale nezohledňují negativní působení v dané lokalitě.

Provedení normalizace není povinné, závisí na stanoveném cíli. Jejím úkolem je zobrazení poměrné škodlivosti jednotlivých vlivů z hlediska dané lokality. Nejprve se stanoví hodnoty referenčních vlivů – lokální koeficienty. Pomocí těchto koeficientů se standardizované vlivy přepočtou tak, aby zohlednily různé regionální preference.

Celkové zhodnocení a porovnání

Celkové zhodnocení představuje určení vzájemného relativního významu všech získaných dílčích zátěží. Relativní význam se stanoví pomocí vah, které určí významnost jednotlivých kategorií dopadů v souladu s cíly studie.

U komparativních studií se provádí srovnání vlivů podle jednotlivých kategorií. Jednoznačný závěr o působení sledovaných systémů je možné udělat pouze, pokud zjištěné dopady jednoho systému jsou ve všech sledovaných kategoriích vyšší nebo nižší než hodnoty druhého systému.

Neprovádí-li se komparativní studie, výsledkem celkového zhodnocení je identifikace procesů, které nejvíce zatěžují životní prostředí, případně návrhy a doporučení ke zmírnění negativních dopadů sledovaného systému na životní prostředí.

2. 4. Problémy a omezení aplikace metody LCA

- Možnosti stanovení různých předpokladů a rozhodnutí během provádění studie (např. výběr zdrojů dat, stanovené váhy) předurčují subjektivní hodnocení a jejich výsledky.
- Modely použité v inventarizační analýze nebo posuzování vlivů jsou omezeny svými předpoklady a nemusí být vhodné pro všechny potencionální dopady nebo použité výsledky.
- Výsledky studií LCA zaměřené na globální a regionální problémy nemusí být vhodné pro lokální použití.
- Přesnost výsledků hodnocení může být omezena dostupností odpovídajících údajů nebo jejich kvalitou.
- Pokud je použitý výrobek recyklován tak, že se mění jeho funkce, dochází ke spojení s dalším životním cyklem. Odpovídající ISO normy dosud neurčují, do jaké hloubky má být recyklace zahrnuta do původního životního cyklu.

3. LCA PET a skleněných lahví na minerální vody: první fáze

Cílem této studie je zjistit a zhodnotit působení všech fází životních cyklů skleněných a PET lahví na minerální vody na jednotlivé složky životního prostředí a porovnat výsledky posuzování těchto konkurenčních obalů.

Předmětem analýzy jsou životní cykly následujících obalů používaných k plnění minerálních vod:

1) vratné zelené skleněné lahve s objemem 0,7 l

2) PET (polyethylentetraftalát) lahve na jedno použití s objemem 1,5 l

Tyto dva typy lahví jsou v současné době nejpoužívanější obaly pro minerální vody v České republice. Skleněné lahve se vyrábějí ještě v objemu 0,33 l. Tento typ se dodává především do restaurací a rychlého občerstvení. PET lahve na minerální vody se používají také s objemem 0,5 l, jejich produkce je jen malou částí minerálních vod plněných do PET lahví. Z celkové produkce minerálních vod v ČR v roce 1998 (500 mil. l) bylo 79 % baleno do skleněných obalů a 19 % do PET obalů [14]. V roce 1999 významně vzrostl podíl použitých PET lahví na celkovém množství obalů na minerální vody.

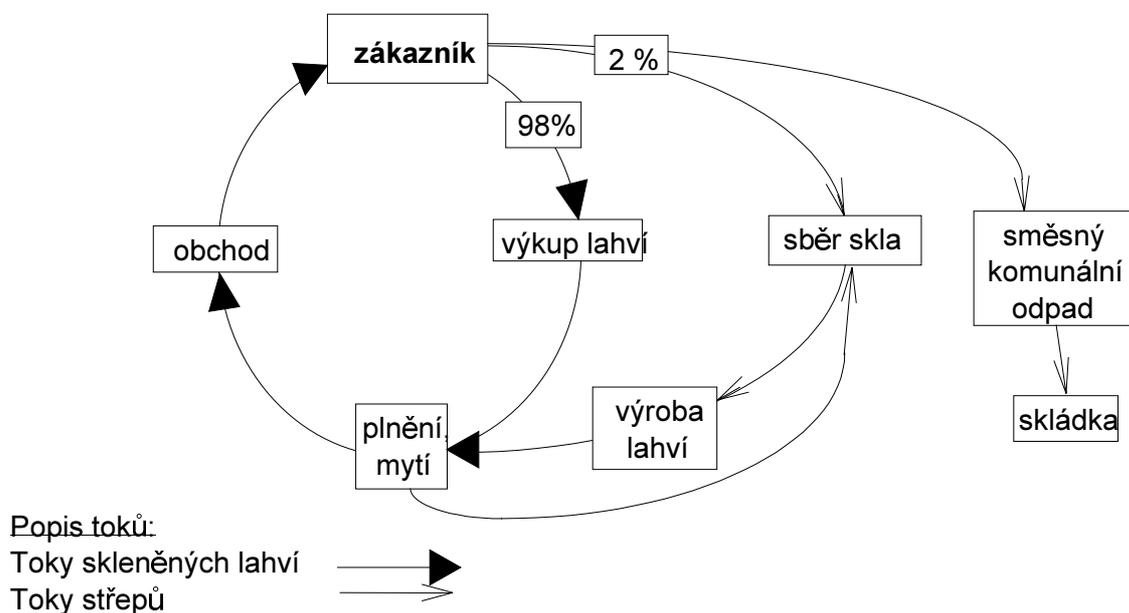
Tab. 1: Charakteristika předmětů analýzy z hlediska jejich funkce

	skleněné lahve 0,7 l	PET lahve 1,5 l
výhody	výborné funkční vlastnosti z hlediska uchování kvality minerální vody	nízká hmotnost (1 láhev = 40 g PET), možnost opakovaného úplného uzavření lahve, menší křehkost, snadná manipulace
nevýhody	velká hmotnost obalu (1 láhev á 420 g skla), nemožnost opakovaně zcela uzavřít láhev, větší křehkost obalu	rychlejší prostupnost okolní teploty do nápoje, v teplých obdobích větší potřeba chladit nápoje v PET obalech
Doba a způsob používání	dlouholetá tradice, funkční zálohový systém vracení lahví (do 1. pol. roku 1999)	počátek použití pro plnění minerálních vod v roce 1998, problém nakládání s použitými obaly není organizačně vyřešen

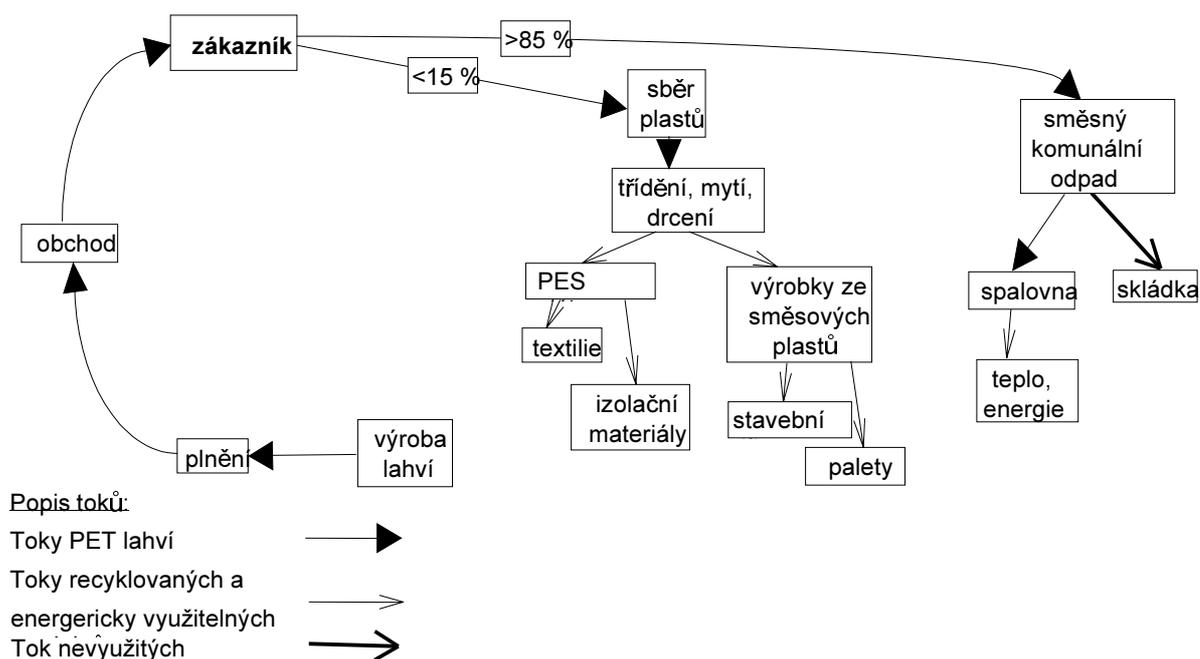
3. 1. Životní cykly hodnocených obalů

Životní cykly vratných skleněných lahví a nevratných PET obalů se vzájemně liší nároky na suroviny, způsobem výroby a šíří využití jednotlivých obalů. Oba rozdílné životní cykly jsou schematicky znázorněny na obrázcích 1 a 2. Klíčový rozdíl spočívá ve využití resp. zneškodnění použitých lahví popsaných v tabulce 2. Proto zde není zakreslena část týkající se získávání surovin, materiálů a energií, ačkoli je dále součástí analýzy.

Obr. 1: Základní schéma životního cyklu skleněných lahví v ČR



Obr. 2: Základní schéma životního cyklu jednocestných PET lahví v ČR



Tab. 2: Klíčové rozdíly životních cyklů hodnocených obalů

	skleněné lahve	jednocestné PET lahve
opětovné využití pro plnění nápojů	po vymytí znovu používány pro nápoje (až 60 cyklů)	Nelze znovu použít pro plnění nápojů z hygienických důvodů
recyklace nefunkčních obalů	poškozené a rozbité obaly - střepy využívány jako přísada k základním surovinám pro výrobu skla	jako část směsného KO se energeticky využívají ve spalovnách KO při výrobě energie a tepla; část tříděných plastových odpadů se zpracovávají při výrobě směsných plastových výrobků anebo PES vláken
výhody recyklace	nevzniká odpad ve formě střepů; používání střepů ve sklárnách šetří primární sklářské suroviny a spotřebu energie na výrobu skla	recyklace snižuje množství odpadů, který jinak končí na skládce či ve spalovně; šetří primární suroviny na výrobu PES vlákna, stavebních dílů; energetické využití snižuje potřebu primárních zdrojů na výrobu energie a tepla
likvidace obalů	díky recyklaci je minimální; sklo je inertní materiál, neliší se svým složením od přírodních látek	ukládání na skládku zvyšuje zábor půdy; PET je inertní materiál odlišný od přírodních látek; doba rozkladu přesahuje délku lidského života; může vznikat problém s nestabilitou povrchu skládek díky prázdným vzduchem naplněným obalům v obsahu skládky

3. 2. Stanovení funkční jednotky

Hlavní funkcí hodnocených obalů je pojmout určitý objem minerální vody ve stanovené kvalitě a umožnit tak různé způsoby manipulace. Za funkční jednotku byl pro účely této studie zvolen objem 10.500 litrů minerální vody jako dostatečně vysoký společný násobek obou hodnocených objemů (1,5, respektive 0,7 l).

Tab. 3: Stanovení funkční jednotky

objem 10.500 litrů	skleněné lahve	PET lahve
množství (ks)	15000	7000
hmotnost prázdných obalů (kg)	6255 - 6480	280

3. 3. Vymezení rozsahu sledovaných obalových systémů

Studie LCA zahrnuje materiálové a energetické toky spojené s různými etapami životního cyklu skleněných a PET lahví. Jejich přehled přináší tab. 4. Obrázky 3 a 4 zobrazují schémata rozsahů a hranic hodnocených životních cyklů skleněných a PET lahví.

Tab. 4: Analyzované etapy životních cyklů skleněných a PET lahví

Skleněné lahve	PET lahve
těžba a zpracování jednotlivých surovin pro výrobu skloviny	těžba a zpracování surovin pro výrobu PET granulátu a jeho produkce
výroba skloviny, tvarování a vyfukování lahví	výroba předlisků a vyfukování lahví
doprava nových lahví	doprava nových lahví
mytí a plnění lahví	plnění lahví
přeprava plných a prázdných použitých lahví	přeprava plných lahví
Nakládání s rozbitými lahvemi	spotřeba PET obalů - nakládání s použitými obaly
	recyklace, energetické využití a skládkování použitých obalů

Obr. 3: Schéma rozsahu životního cyklu skleněných lahví

**PROCESY, ENERGETICKÉ A LÁTKOVÉ TOKY SPOJENÉ SE SKLENĚNÝMI LAHVEMI
ZAHRNUTÉ DO ROZSAHU POSUZOVÁNÍ**

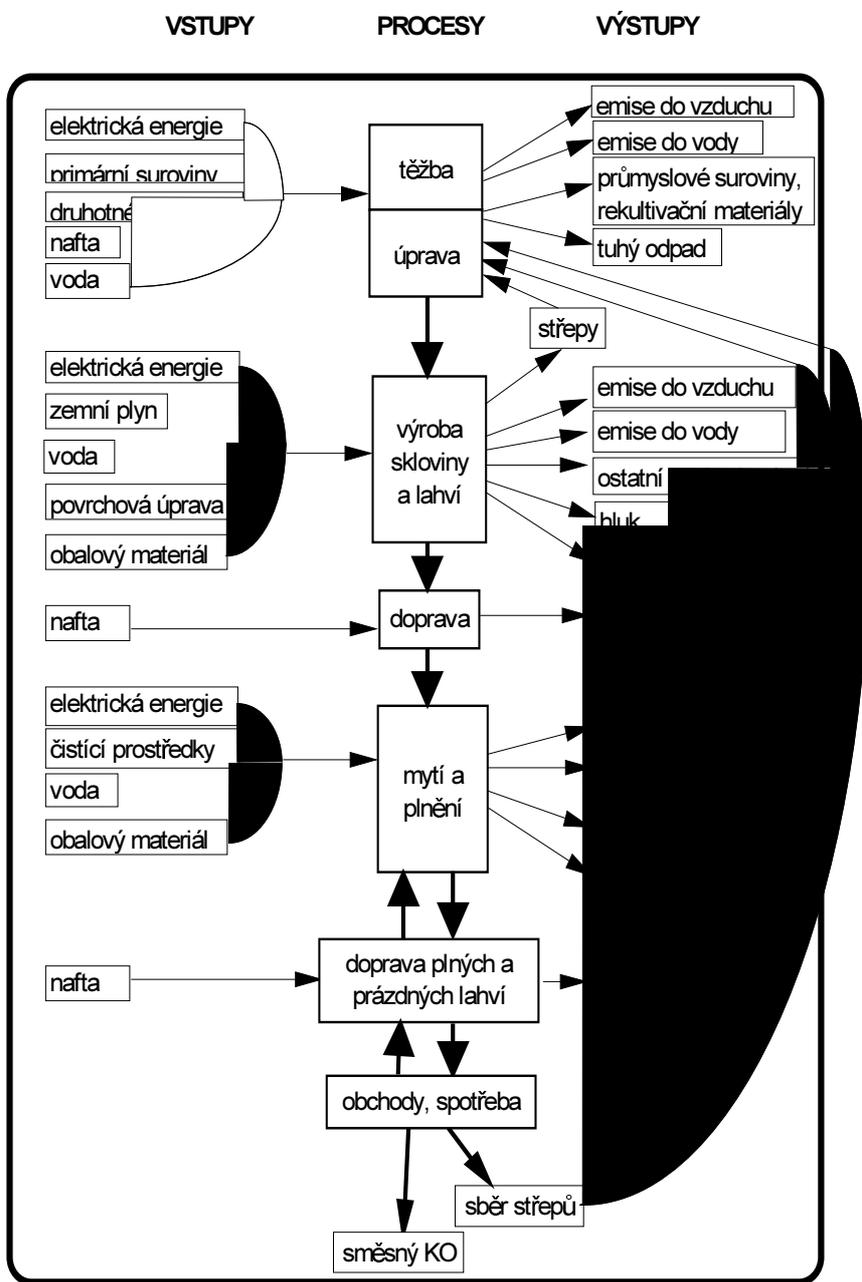
procesy nezařazené do studovaného životního cyklu

výroba druhotných surovin
čín
výroba motorové nafty
doprava surovin a materiálů
čerpání vody
čištění odpadních vod

výroba strojů
výroba forem
výroba obalových materiálů
výroba balících strojů
výroba dopravních prostředků
výroba látek pro povrchovou úpravu

výroba strojů na mytí
výroba minerálky
výroba víček
výroba papírových etiket
výroba strojů na plnění
výroba přepravek

manipulace v obchodních skladech
přeprava z obchodů ke konečným spotřebitelům
výroba chladniček pro obchody a spotřebitele
chlazení minerální vody



Obr. 4: Schéma rozsahu životního cyklu PET lahvi

**PROCESY, ENERGETICKÉ A LÁTKOVÉ TOKY SPOJENÉ S PET LAHVEMI
ZAHRNUTÉ DO ROZSAHU POSUZOVÁNÍ**

procesy nezařazené do studovaného životního cyklu

výroba druhotných surovin
činnosti lidí
výroba motorové nafty
doprava surovin a materiálů
čerpání vody
čištění odpadních vod

výroba chemického zařízení

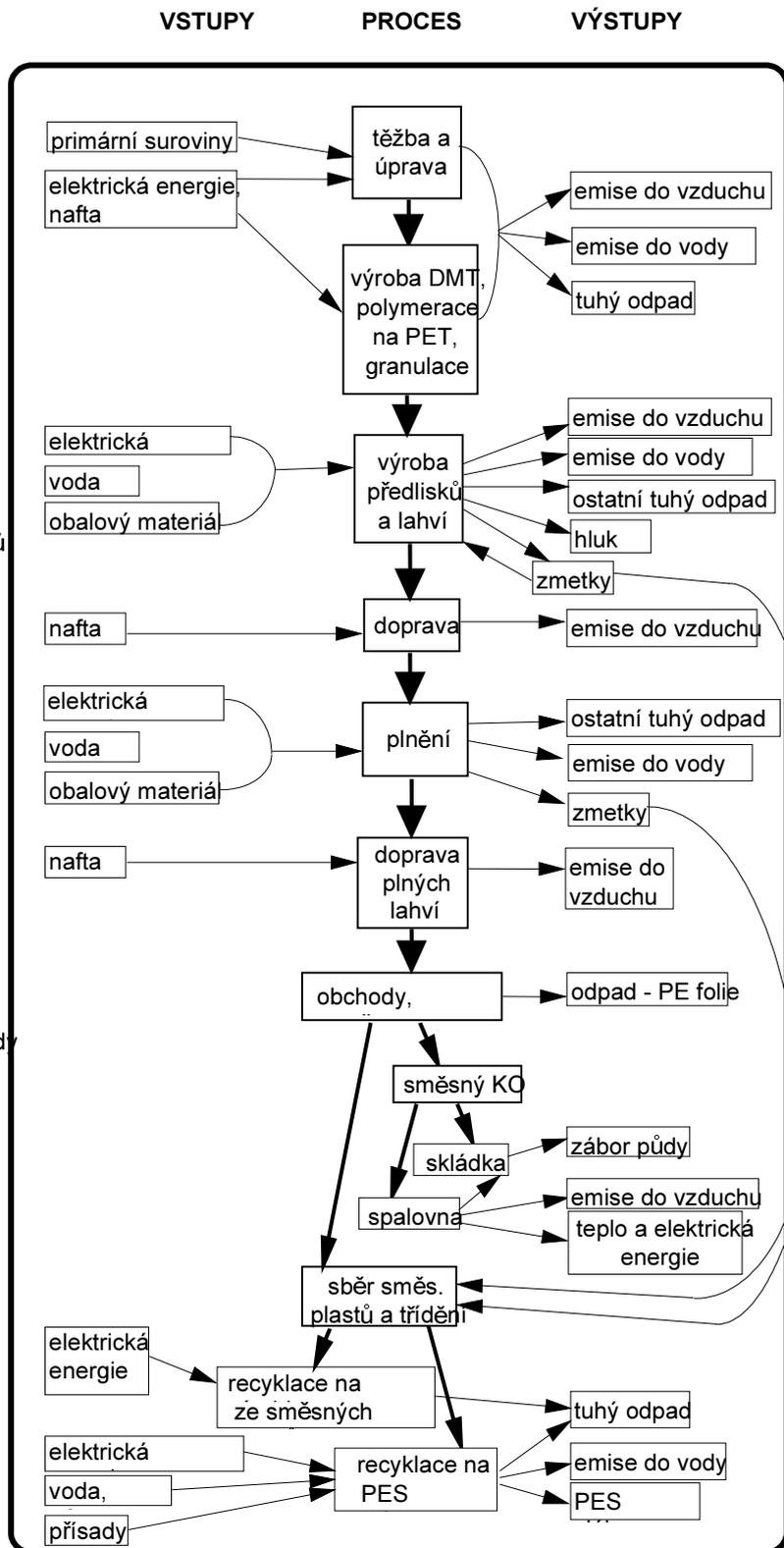
výroba strojů
výroba forem
výroba obalových materiálů
výroba balicích strojů
výroba dopravních prostředků

výroba strojů na proplach
výroba minerálky
výroba víček
výroba papírových etiket
výroba strojů na plnění
výroba přepravek

manipulace v obchodních skladech
přeprava z obchodů ke konečným spotřebitelům
výroba chladniček pro obchody a spotřebitele
chlazení minerální vody
doprava použitých obalů

výroba kontejnerů na sběr
výroba třídících zařízení

výroba recyklačních zařízení



3. 4. Posuzované toky

Uvedená schémata jsou značně rozsáhlá a obsahují procesy a toky z mnoha závodů a podniků. Životní cykly skleněných lahví a PET lahví byly v inventarizační analýze rozděleny na jednotlivé subsystémy podle procesů a zdrojů získaných dat.

Tab. 5: Hodnocené toky systému skleněných a PET lahví

Hodnocené toky systému skleněných lahví		
<i>toky</i>	zdroj informací v systému skla	
spotřeba elektrické energie	těžební a úpravárenské podniky	chemické podniky
spotřeba primárních surovin		
spotřeba druhotných surovin		
spotřeba vody		
Emise do ovzduší		
Emise do vody		
tuhé odpady		
spotřeba elektrické energie	sklárný	chemické podniky, výrobci lahví
spotřeba surovin/materiálu		
spotřeba vody		
spotřeba obalového materiálu		
spotřeba postřiků na povrchovou úpravu		
spotřeba maziva na stroje		
Emise do ovzduší		
emise do vody		
energetické emise - hluk		
tuhé odpady		
spotřeba elektrické energie	plnicí podniky	plnicí podniky
spotřeba čistících prostředků		
spotřeba vody		
spotřeba obalového materiálu		
Emise do vody		
energetické emise - hluk		
tuhé odpady		
spotřeba motorové nafty	plnicí podniky, dopravní společnosti	plnicí podniky, dopravní společnosti
emise do ovzduší		

Pro celkové posouzení životních cyklů skleněných a PET obalů je v závěrečné části inventarizační analýzy proveden souhrn toků podle jednotlivých kategorií pro skleněné a PET lahve. Tyto dvě výsledné inventarizační matice jsou předmětem posuzování.

3. 5. Vstupní informace analýzy

Těžební, úpravárenské a dodavatelské podniky

- technologické postupy zaměřené na zjištění všech energetických a materiálových toků těžby a úpravy jednotlivých surovin pro výrobu skla ovlivňující výrazně životní prostředí
- údaje o množství všech energetických a materiálových vstupů a výstupů na danou jednotku produkce uvedené v tabulce 5
- údaje o nakládání s odpady

Sklárny a výrobci PET lahví

- technologické postupy jednotlivých procesů zaměřené na zjištění všech energetických a materiálových toků spojených s výrobou skleněných a PET lahví, které výrazně ovlivňují životní prostředí
- údaje o množství všech energetických a materiálových vstupů a výstupů na danou jednotku produkce uvedené v tabulce 5
- údaje o nakládání s odpady, čištění znečištěné vody a emisích vypouštěných do vzduchu
- údaje o přepravě výrobků k odběratelům

Chemické podniky

- technologické postupy jednotlivých procesů popisující veškeré energetické a materiálové toky spojené s výrobou PET granulátu, které výrazně ovlivňují životní prostředí
- údaje o množství všech energetických a materiálových vstupů a výstupů na danou jednotku produkce uvedené v tabulce 5

Výrobci PET lahví

- technologické postupy jednotlivých procesů zaměřené na zjištění všech energetických a materiálových toků spojených s výrobou PET lahví, které výrazně ovlivňují životní prostředí
- údaje o množství všech energetických a materiálových vstupů a výstupů na danou jednotku produkce uvedené v tabulce 5
- údaje o nakládání s odpady a čištění znečištěné vody
- údaje o přepravě výrobků k odběratelům (druh přepravy, tonáž, dopravec)

Producenti minerálek

- technologické postupy jednotlivých procesů zaměřené na zjištění všech energetických a materiálových toků spojených s mytím, plněním a balením skleněných a PET lahví výrazně ovlivňujících životní prostředí
- údaje o množství všech energetických a materiálových vstupů a výstupů na danou jednotku produkce uvedené v tabulce 6
- údaje o nakládání s odpady a čištění znečištěné vody
- údaje o přepravě minerálních vod ve skleněných lahvích k odběratelům a o vracení použitých lahví od odběratelů (druh přepravy, tonáže, přepravce)

Přepravci

- údaje o přepravě minerálních vod podle druhu obalů, složení a tonáží přepravovaných nákladů uvedené v tabulce 7

Recyklační firmy

- technologické postupy jednotlivých procesů zaměřené na zjištění všech energetických a materiálových toků spojených s recyklací PET lahví
- údaje o množství všech energetických a materiálových vstupů a výstupů na danou jednotku produkce uvedené v tabulce 5

Spalovny a skládky komunálního odpadu

- údaje o tepelné výhřevnosti a emisích CO₂ do ovzduší vzniklých při spalování PET
- údaje o objemu zabraného místa PET obaly při uložení na skládce

3. 6. Předpoklady stanovené pro studii LCA

Pro větší objektivitu a hlubší prozkoumání dopadů obou životních cyklů jsou do studie zahrnuty tyto varianty:

- vlivy různého materiálového složení skleněných lahví v závislosti na výrobci
- vlivy využití nebo nevyužití zmetků při výrobě PET lahví
- vlivy různého počtu cyklů používání skleněných lahví a vzdáleností přepravy
- vlivy rozdílných závěrečných fází životního cyklu PET lahví (recyklace, energetické využití a uložení na skládku)

Doprava základních surovin pro výrobu skleněných i PET lahví není zahrnuta do rozsahu vzhledem k možnosti vybrat si dodavatele z různých oblastí na světě i vzhledem k rozmístění výrobců obou typů obalů v České republice. Například největšími výrobci PET granulátu jsou firmy Hoechst (SRN) a Eastman (USA). Některé suroviny na výrobu skla lze získat na území České republiky, další jsou dováženy například z Nizozemí, Itálie a Německa.

Hlavním předmětem posuzování jsou energetické a materiálové toky probíhající na území České republiky.

Nepravidelnosti způsobené narušením chodu procesů nejsou předmětem této studie. Většina procesů spojených oběma životními cykly probíhá nepřetržitě (výroba na směny). Nepřetržitým procesem je výroba skleněných lahví, chemická výroba PET granulátu a chemická výroba sody těžké.

Podrobné údaje jsou zjišťovány o všech vymezených tocích energií a materiálů, u kterých existují potřebná data. Předmětem následného hodnocení budou jen toky představující alespoň pět procent z celkových vstupů nebo výstupů studovaných životních cyklů.

Vlivy výrobních zařízení, staveb a služeb nepřímo spojených s hodnocenými lahvemi a produkce pomocných a obalových materiálů nejsou předmětem posuzování této studie. Důvodem je velký rozdíl v úrovni jednotlivých výrobních zařízení. Některé pomocné a obalové materiály jako etikety, palety a fólie jsou shodné pro oba typy obalů. Rozdílná spotřeba palet a fólií je do analýzy zahrnuta. U skleněných lahví se používají navíc k dopravě plastové přepravky. Jejich výroba není předmětem posuzování, ale jsou zahrnuty do studie ve formě spotřeby přepravek a jako odpad vznikající při plnění skleněných lahví.

Počet cyklů použití 1 skleněné lahve se podle odhadů pohybuje mezi 20 až 60, přesná data však neexistují. Určitým vodítkem může být množství nových lahví dodávaných do výroby, které se pohybuje v ročním průměru od 0 do 10 % v závislosti na změnách ve velikosti výroby. Jeden výrobce minerálních vod podílející se na studii používal v roce 1997 průměrně 3,6 % nových lahví. Tuto hodnotu lze interpretovat jako 28 cyklů ($1/0,036 = 28$).

Počet cyklů ovlivňuje velikost hodnocených vlivů z těžby a úpravy surovin, z výroby nových lahví, z jejich prvotní přepravy k plnění a množství znečištěné vody a odpadů vznikajících při mytí lahví. Pro výchozí posuzování je předpokládána střední hodnota odhadů, tj. 40 cyklů. Při plnění je v tomto případě použito 2,5 % nových lahví ($1/0,025 = 40$), což představuje 375 lahví z funkční jednotky 15.000 lahví.

Novým lahvím je tedy pro posuzování přiřazeno 2,5 % energetických a materiálových toků spojených s těžbou a úpravou surovin obsažených ve funkční jednotce, s výrobou skleněných lahví a s jejich prvotní přepravou k plnění. Použitým lahvím, které podle výše uvedeného předpokladu slouží 40 cyklů, byla přiřazena 1/40 toků spojených s úpravou surovin, výrobou a přepravou nových lahví.

Jednotlivé hodnoty energetických a materiálových toků spojených s úpravou surovin, výrobou a přepravou nových lahví zjištěné na jedno použití lahví jsou vynásobeny koeficientem $0,0493 = (0,025 + 0,975/40)$.

Vliv distribuce minerálních vod na životní prostředí závisí především na způsobu přepravy, vzdálenosti a charakteru použité trasy. K přepravě minerálních vod se v ČR používá nákladní automobilová přeprava. Vzhledem k rozloze České republiky a rozmístění výrobců minerálních vod předpokládám pro výchozí posuzování průměrnou vzdálenost přepravy lahví mezi výrobcem minerálních vod a jejich odběrateli 300 km (jedna cesta). Variantně jsou zpravovány vlivy přepravy pro vzdálenost 100 a 400 km.

Pro posuzování vlivu hluku by bylo potřeba vzít v úvahu charakter použité trasy a rozdílnou hlučnost u jednotlivých typů nákladních automobilů. Informace o charakteru přepravních tras a

rozdílné hlučnosti používaných vozů nebyly zjištěny. Při analýze vlivu dopravy na životní prostředí budou hodnoceny zvláště spotřeba paliva a celkový vliv dopravy na životní prostředí. U skleněných lahví je podle výše uvedených předpokladů 97,5 % vráceno zpět do plnicích podniků. Zbylé 2,5 % představují část obalů, která se při použití a spotřebě rozbije. Střepy vzniklé v plnicích firmách anebo v obchodech jsou předávány jako druhotná surovina zpět do skláren. Střepy z plnicích firem představují 1 - 2 % z celkové produkce. Údaje o množství střepů z lahví na minerální vody, které se nevrátí do oběhu plnění nebo ve formě střepů do skláren, nebyly dostupné. Vzhledem k výše uvedeným údajům o vrácených lahvích a střepech z plnicích podniků předpokládám, že do směšného komunálního odpadu se dostane méně než 0,5 % střepů z objemu produkce výrobců minerálních vod. Tato část střepů nebude brána při posuzování v úvahu.

Konečná fáze životního cyklu PET lahví má podle získaných údajů [23,26,29,32,34] několik variant. Kromě „zneškodnění“ na skládce a energetického využití ve spalovnách KO se používá několik způsobů recyklace.

V České republice se používá recyklace na výrobky ze směsných plastů a recyklace polykondenzací na PES vlákna, z nichž se vyrábí pomocné netkané textilie.

Většina použitých PET obalů v Čechách (80 - 90 %) je podle dostupných údajů recyklačních firem a společností zabývajících se organizací sběru a tříděním plastů odložena do směšného KO. Podle údajů firmy D, zabývající se analýzami KO a organizací sběru plastů, má 30 % obyvatel na celém území Čech možnost využít k bezplatnému sběru plastů speciální kontejnery na „plasty“. Ani tyto kontejnery nejsou dostatečně využívány, a to díky neinformovanosti obyvatel a roztráštěné organizaci systému sběru plastů.

Studie posuzuje tři alternativy nakládání s použitými PET lahvemi:

- 100 % uloženo na skládce,
- 100 % je energeticky využito ve spalovně a
- 100 % se recykluje na PES vlákna.

PE fólie z palet a jednotlivých balení PET lahví po šesti kusech zůstávají většinou v obchodech, protože spotřebitelé nakupují minerální vody v PET lahvích buďto po jednotlivých kusech lahví nebo v balení po šesti kusech.

Velké obchodní sítě, jako například Delvita, obaly shromažďují podle jednotlivých druhů a předávají k recyklaci. Informace o nakládání s použitými fóliemi v malých obchodech nejsou k dispozici a pravděpodobně se liší případ od případu. Pro hodnocení předpokládáme zneškodnění použitých fólií z naplněných lahví formou ukládání na skládce, lze je však také recyklovat.

4. Inventarizační analýza

Prvním krokem inventarizační analýzy je zobrazení všech materiálových a energetických toků, které vstupují a vystupují do jednotlivých procesů - etap životního cyklu vymezených ve schématech na obrázcích 3 a 4. Pro provedení inventarizační analýzy jsou systémy skleněných a PET lahví rozděleny na jednotlivé subsystémy.

Základní data o jednotlivých tocích v obou systémech byla získávána od subjektů zapojených do životního cyklu nápojových obalů v ČR. Tato data jsou doplněna o informace z jednotlivých podnikových evidencí, firemních materiálů a odborných publikací. Jednotlivé číselné údaje jsou pomocí výpočtů převedeny na stanovenou funkční jednotku. V některých případech, např. popis toků souvisejících s dopravou, je využito kvalifikovaných odhadů.

4. 1. Analýza systému životního cyklu skleněných lahví

Přehled subsystémů životního cyklu skleněných lahví:

- a) těžba a zpracování surovin na výrobu skloviny
- b) výroba skloviny a skleněných lahví
- c) mytí a plnění lahví
- d) přeprava skleněných lahví

4.1. 1. Těžba a zpracování surovin na výrobu skloviny

Při výrobě zelených skleněných lahví se potřebují tyto suroviny:

- primární suroviny (sklářský písek, soda těžká, vápenec, znelec, sádrové pojivo, portachrom),
- druhotné suroviny (loppa - upravená struska, střepy).

Sklářský křemičitý písek

Těží a upravuje se fyzikálním způsobem v České republice. Sklářský písek tvoří nejkvalitnější složku vytěženého křemičitého písku. Tato složka vytěžené suroviny se získává mokřým tříděním a odvodněním. Vytěžené písky v dané lokalitě obsahují 38 % sklářských písků, 55 % slévarenských a jiných průmyslových písků. Zbylých 7 % suroviny lze využít v keramickém průmyslu (obsahují jílové pojivo, kaolin a ostřivo). Z ekonomických důvodů se v současnosti tato část suroviny používá pro rekultivaci vytěžených prostor.

Při procesu mokrého třídění a odvodnění se používá užitková voda, která je díky čistírně odpadních vod udržována v uzavřeném cyklu. Spotřeba a znečištění vody při úpravě sklářského písku nebudou dále předmětem posuzování.

Spotřebu elektrické energie a motorové nafty na jednotlivé procesy těžby a úpravy 1 tuny písku ukazuje tabulka.

Tab. 6: Spotřeba energie a nafty na těžbu a úpravu 1 tuny sklářského písku.

procesy	elektrická energie (kWh/t)	motorová nafta (l/t)
skrývka		0,1
těžba		0,24
technologická přeprava	0,63	0,13
mokré třídění	3,59	
odvodnění	0,29	
nakládka	0,42	0,1
přeprava do železniční stanice		0,29
celkem	4,93	0,86

Vstupy: základní surovina - křemičitý písek, elektrická energie, motorová nafta na zajištění přepravy suroviny a voda v uzavřeném cyklu.

Výstupy: průmyslové suroviny (sklářské a slévarenské písky), rekultivační materiál oddělený tříděním a emise do ovzduší vzniklé spalováním nafty.

K dopravě sklářského písku do skláren se používá železnice.

Výše uvedená spotřeba zahrnuje spotřebu energie pouze na technologické procesy (nezahrnuje režii, obslužné a pomocné procesy).

Potřebné množství sklářského písku činí 19,28 % z celkového množství surovin pro výrobu skloviny.

Soda těžká

Vyrábí se syntetickým způsobem v podniku T v SRN. Produkce sody probíhá spolu s výrobou peroxidu.

Popis technologického procesu:

První fází je čištění soli kamenné (NaCl), která je základní surovinou pro výrobu sody. Čistá sůl se nasycuje amoniakem v absorpčním zařízení. Při absorpci se uvolňuje teplo, proto se zařízení chladí vodou. Následuje karbonizace nasycené soli oxidem uhličitým (CO₂) v solvayové věži. CO₂ se získává hašením vápence. Po karbonizaci se hydrogenuhličitanová kaše přivádí do rotačního vakuového filtru. Při filtraci se oddělí soda a roztok chloridu amonného (NH₄Cl). Amoniak se regeneruje působením vápenného mléka pomocí destilace. Přefiltrovaná soda se kalcinuje v rotační peci. Plyny z kalcinační pece obsahující CO₂ přecházejí nejprve přes cyklón, aby se zachytil prach sody, potom se chladí, promývají a vracejí do karbonizační věže. Výsledný

produkt - těžká soda (Na_2CO_3) se dopravuje do skladu. Soda z firmy T má nízký obsah NaCl, což snižuje emise do ovzduší při výrobě skla.

Při výrobě sody vznikají odpadní vody především při regeneraci amoniaku a při hašení vápna. Znečištěná voda z regenerace amoniaku obsahuje CaCl_2 , NaCl, CaCO_3 , CaSO_4 , Mg(OH)_2 , Ca(OH)_2 , Fe(OH)_3 , Al(OH)_3 , SiO_3 . Při zneškodňování odpadních vod se získává chlorid vápenatý, který lze po zahuštění využít v cementárnách. Jeho odbyt je však omezený, a proto se ukládá do vytěžených prostor.

Vedle produkce sody těžké probíhá ve firmě T ještě výroba peroxidu a elektrické energie dodávané do místní elektrárny. Poskytnutá data o jednotlivých tocích spojených s procesy výroby v podniku obsahují roční hodnoty nerozdělené na jednotlivé produkty. Podle zástupce firmy T byly pro získání potřebných hodnot o produkci sody provedeny následující přepočty:

- převedení údajů o roční produkci sody (486 kt) na množství potřebné do směsi na výrobu skla - 474 kg
- rozdělení spotřeby zemního plynu a emisí do ovzduší na jednotlivé produkty (elektrická energie do elektrárny 77%, soda těžká 15, 3%, peroxid 7,7%)
- tuhý odpad je produkován jen při výrobě sody

Vstupy: chlorid sodný, amoniak, vápenec, koks, voda, elektrická energie ze zemního plynu.

Výstupy: soda těžká, vápenec, odpadní vody, tuhé odpady, emise do ovzduší, elektrická energie.

Tab. 7: Přehled materiálových a energetických toků spojených s výrobou sody těžké

vstupy		jednotky	množství
suroviny	sůl NaCl	kg	776
	vápenec	kg	1649
	koks	kg	48
	voda	m ³	26
	zemní plyn	m ³	136
palivo			
elektrická energie ze zemního plynu		MJ	685
výstupy			
produkty	soda těžká	kg	474
	vápenec	kg	740
tuhé odpady	smíšené průmyslové++	g	2155
	regulované z chem.výroby+	g	400
	využitelné - druhot. suroviny	g	134
emise do ovzduší	CO ₂	g	122758
	SO ₂	g	0,155
	CO	g	1038
	těkavé látky HCl, HF	g	51
	NO _x	g	120
	prach	g	5.89

+ nebezpečný - nutno uložit na speciálních skládkách

++ obsahuje obaly a ostatní smíšený odpad - jako KO

Potřebné množství sody těžké činí 7,13% z celkového množství surovin pro výrobu skloviny.

Vápenec

Těží se a upravuje fyzikálním způsobem v České republice. Upravován je v primární a sekundární drtírně. Drcená surovina je přepravena do třířídny, kde se rozděljuje na jednotlivé frakce. Podle požadavků odběratelů se jednotlivé frakce buďto dále upravují nebo přímo expedují zákazníkům.

Do sklárny A je dodáván jemně mletý vápenec druh 5 tř. 3 podle ČSN 72 1220 a ČSN 72 1217. Pro tento druh vápence se používá frakce o zrnitosti 0 - 0,63 mm, která je roztříděna ve větrném třířídni na mletý druh 5 a 7. Roztříděné druhy 5 a 7 jsou skladovány v expedičních silech.

Údaje o materiálových a energetických tocích zpracovatel vápence neposkytl.

Potřebné množství vápence činí 4,07% z celkového množství surovin pro výrobu skloviny.

Znělec

Těží se a upravuje fyzikálním způsobem v České republice. Vytěžená surovina se upravuje suchým mletím. Při mletí unikne přibližně 2–3% suroviny jako rozprach do okolí. Z vytěžené suroviny setak získá 97–98% mletého znělce pro použití ve sklářském průmyslu. Vzhledem k malému procentnímu zastoupení znělce ve směsi na výrobu skla (2,06%) nebyly zjišťovány podrobné údaje o technologické přepravě, spotřebě pohonných hmot a používaných technologických zařízeních.

K získání 1 tuny kvalitního umletého znělce je spotřebováno 15 kWh elektrické energie (tato hodnota zahrnuje i režii).

Vstupy: základní surovina - vytěžený znělec, elektrická energie a pravděpodobně motorová nafta na zajištění přepravy suroviny.

Výstupy: mletý znělec, rozprach a emise do ovzduší vzniklé spalováním nafty.

Potřebné množství znělce činí 2,06 % z celkového množství surovin pro výrobu skloviny

Sádrové pojivo

Získává se ze sádrovce v sádrovcových dolech na Moravě. Zpracování sádrovce na sádrové pojivo spočívá v drcení a sušení (kalcinace) sádrovce a finálním mletím kalcinovaného sádrovce. Do sádrovce pro výrobu sádrového pojiva se nepřidávají žádné další látky. Pro výrobu 1 tuny sádrového pojiva je potřeba 1,28 tuny sádrovce. Hmotnostní rozdíl 280 kg představuje únik krystalické vody.

Celková spotřeba elektrické energie na výrobu 1 tuny sádrového pojiva činí 26,35 kWh. Vzhledem k malému procentnímu zastoupení sádrového pojiva ve směsi na výrobu skla (0,27%) nebyly zjišťovány další podrobné údaje o materiálových tocích a používaných technologických zařízeních.

Vstupy: vytěžený sádrovec, elektrická energie, motorová nafta a zemní plyn.

Výstupy: sádrové pojivo, krystalická voda, emise do ovzduší vzniklé spalováním nafty a zem. plynu.

Potřebné množství sádrového pojiva činí 0,27 % z celkového množství surovin pro výrobu skloviny

Portachrom

Portachrom - zelené barvivo - se vyrábí z chromové rudy pomocí mletí, síťování a třídění. Chromová ruda se těží a zpracovává v Africe pro nizozemskou zprostředkovatelskou firmu. Konkrétní data nebyla holandskou firmou poskytnuta. K dispozici je pouze chemické složení portachromu. Vzhledem k malému procentnímu zastoupení portachromu ve směsi na výrobu skla není absence údajů o materiálových a energetických tocích významná pro dílčí i celkové posuzování.

Potřebné množství barviva činí 0,35 % z celkového množství surovin pro výrobu skloviny. Vliv této suroviny nebude brán dále v úvahu.

Loppa

Loppa je italský název pro upravenou vysokopecní strusku, jež vzniká jako vedlejší produkt při výrobě železa. Elektrická energie potřebná pro úpravu strusky na druhotnou surovinu je 12 kWh na 1 tunu upravené strusky. Při zpracování strusky probíhají následující procesy: homogenizace, sušení, třídění, magnetická separace s nízkou intenzitou, mletí, třídění, gravitační separace a magnetická separace s vysokou intenzitou.

Vstupy: struska, elektrická energie.

Výstupy: upravená struska, tuhý odpad ze strusky.

Potřebné množství lopy činí 1,22 % z celkového množství surovin pro výrobu skloviny.

Střepey

Část střepey z celkového množství (cca 1/3) pochází z vlastní výroby. Tyto střepey zahrnují sklovinu z granulace a zmetky z výroby. Granulace se používá pro odvádění skloviny mimo tvarovací formy do chladicí vodní lázně. Sklovina se odvádí do granulace při změně sortimentu - barvy skloviny, při výměně forem, nebo při jejich opravě. Drcení těchto střepey probíhá ve sklárně, proto je odpovídající spotřeba energie zahrnuta do subsystému výroby skloviny a skleněných lahví.

Zbytek střepey pochází převážně z ČR, od firem používajících skleněné lahve na plnění a ze separovaného sběru skla. Při nedostatku českých střepey anebo při jejich špatné kvalitě se používají kvalitně vytříděné a nadrcené střepey dovezené ze SRN.

Třídění a drcení českých střepeň zajišťuje pro sklárnu A externí svozová firma H. Tato firma sváží střepeň z území středních, západních a jižních Čech. Průměrné měsíční množství svezeneých střepeň je 2000 tun, z nichž 75 % pochází ze separovaného sběru skla a 25 % představují průmyslové odpady. Svezeneé střepeň se nejprve drtí a následně ručně třídí na pásovém dopravníku. Odpad z třídění tvoří 7 až 12 % ze svezeneých střepeň, skládá se z papíru, víček a organických látek.

Spotřeba elektrické energie na drcení a třídění 1 tunu střepeň ze separovaného sběru je v průměru 8,27 kWh.

Vstupy: směs střepeň a elektrická energie.

Výstupy: drceneé střepeň, tuhý odpad, hluk (nebyl měřen).

Potřebné množství střepeň činí 65,58 % z celkového množství surovin pro výrobu skloviny.

Inventarizační matice surovin pro sklárnu

Tabulka udává přehled energetických a materiálových toků souvisejících s těžbou a úpravou surovin pro výrobu skloviny. Jednotlivé hodnoty vycházejí z výše uvedených informací od jednotlivých dodavatelů. Pro potřeby posuzování jsou údaje přepočteny na množství surovin použité k výrobě jedné funkční jednotky skleněných lahví (15.000 kusů) ve sklárně A.

Tab. 8: Inventarizační matice surovin

funkční jednotka (15 000 lahví á 0.7 l = 10 500 litrů): tj. 6 255 kg skloviny

		jednotky	sklářský křemičitý písek	soda těžká	vápe- nec	znělec	sádrové pojivo	upravená struska - loppa	porta- chrom	střepeň z výroby skla	střepeň z ČR odpadu	Celkem
vstupy												
spotřeba zdrojů	hlavní surovina	kg	3374.55	776		140.91	23.22		NA*			4314
	vápenec	kg		1649	271							1920
	koks	kg		48								48
	voda	litry		26000								26000
	úprava druh. suroviny	kg						81.36		1245.50	3443	4770
palivo	nafta	litry	1.10				NA*					1.1
	spotřeba elektrické energie	kWh	6.32	190	NA*	2.11	0.478	0.976	NA*	viz matice sklárny	28.47	229
výstupy												
emise do ovzduší	CO ₂	g		160404								160404
	SO ₂	g		0.203								0.20
	CO	g		1357								1357
	těkavé látky HCl, HF	g		66								66
	NOx	g		156								156
	prach	g		7.70								7.70
emise do vody				NA*								
tuhé odpady	krystalická voda	kg					5.08					5.08
	regulovaný z chem. výroby+	kg		0.40								0.40
	smíšený průmyslový++	kg		2.15							327	329.15
	rozprach znělece	kg				3.52						3.5
vedlejší produkty	průmyslové suroviny	kg	1856	0.13								1856
	rekultivační materiál	kg	236									236
	vápenec	kg		740								740
množství čisté suroviny		kg	1282.33	474.14	271.2	137.99	18.14	81.36	23.17	1245.50	3116	6650
množství čisté suroviny		%	19.29	7.13	4.08	2.066	0.27	1.22	0.35	18.73	46.86	100

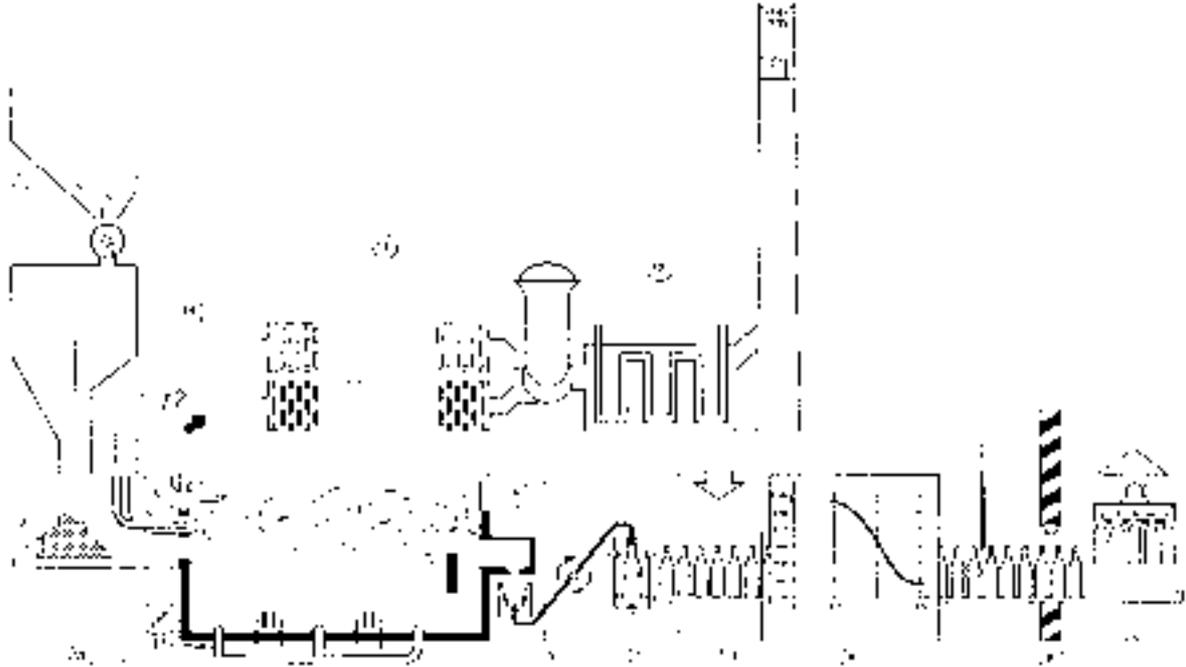
+ nebezpečný - nutno uložit na speciálních skládkách

++ obsahuje obaly a ost. smíšený odpad - jako KO

4. 1. 2. Výroba skloviny a skleněných lahví

Skleněné lahve se vyrábějí tvarováním tekuté žhavé skloviny, která vzniká roztavením směsi surovin v tavícím agregátu. Výrobní proces je nepřetržitý. Následuje stručný popis technologie výroby skleněných lahví. Schematické znázornění technologického procesu výroby skleněných lahví je uvedeno na obrázku 5.

Obr. 5: Schéma technologického procesu výroby skleněných lahví



1. automatické navažování
2. přísun sklářského kmene do tavící vany
3. tavení - výroba skloviny
4. dávkování skloviny
5. automatická výroba lahví
6. vyfukování konečného tvaru
7. teplá povrchová úprava
8. chlazení
9. studená povrchová úprava, kontrola kvality
10. balení
11. předehřívání vzduchu v regeneračních komorách
12. využití tepla ve spalínovém kotli
13. vstup elektrické energie elektrodami do tavící vany
14. vstup zemního plynu s ohřátým vzduchem do tavící vany

Příprava surovin: Suroviny popsané v subsystému těžby a zpracování surovin, oddíl 4.1.1., se ve sklárně již neupravují kromě vlastních střepů, které se drtí na požadovanou velikost. Suroviny uchovávané volně nebo v zásobnících se pomocí pneumatických výtahů a dopravních pásů přepravují do kmenárny. Kmenárna se skládá ze souboru zásobníků surovin, vibračních a šnekových podavačů, vah, míchaček a transportního zařízení. V kmenárně se míchá sklářský kmen (směs surovin) pro výrobu skloviny.

Výroba skloviny: Sklářský kmen se dopravuje na začátek vany tavicího agregátu. Tavicí agregát má dvě části: tavicí, kde probíhá samotné tavení a vyčeření skloviny, a pracovní, kde se připravuje sklovina k následnému tvarování. Vana agregátu je vytápěna ze stran zemním plynem a zesponu elektrickou energií. Teplota tavení je cca 1600°C. Vedle tavicí vany jsou z obou stran umístěny regenerační komory, které slouží k přehřívání vzduchu používaného pro spalování zemního plynu. Tyto regenerační komory využívají část tepla vzniklého při tavení. Ostatní teplo se používá k vytápění výrobní haly. Tavicí proces je řízen počítačovým systémem. Životnost tavicí vany je 12 let. S vyšším opotřebením vany roste množství emisí vypouštěných do ovzduší.

Tvarování skloviny: Úprava skloviny pro tvarování probíhá pomocí kanálů - feederů. Na konci těchto kanálů je dávkovač, který vytlačí kapku skloviny podle povahy výrobku a odstříhne ji. (Při změně sortimentu výroby zde dochází ke granulaci, kdy je sklovina odvedena mimo dávkovač do vodní lázně po dobu, než jsou formy opět připraveny.) Pro tvarování lahví se používá nejprve přední forma - vytvaruje baňku a ústní forma - tvaruje hrdlo, následně pak konečná forma, ve které se vyfoukne požadovaný tvar lahve. Při tomto procesu má sklovina cca 750° C. Tvarování probíhá na sklářském řadovém automatu technologií dvakrát fuk. Touto technologií se dávkuje na konci jednotlivých kanálů vždy dvě kapky najednou. Rychlost tvarování lahví je dvakrát 58 kusů za minutu. Tvarovací proces je velice hlučný - hladina hluku se pohybuje v rozmezí 105 - 110 Decibelů. Pro hladký průběh tvarování a zvýšení kvality se používá separační přípravek na natírání forem. Tento přípravek se vyrábí na bázi minerálních olejů, jeho chemické složení znázorňuje následující tabulka. Vytvarované lahve dále prochází zušlechtním za tepla - postřikem chloridem cíničitým (obsahuje min. 99% monobutylu a méně než 1% dl).

Tab. 9: Chemické složení mazacího oleje

složky	grafit	síra	ropný olej	patentované přísady
%	1,5 - 2,5	3,5 - 5,5	70 - 80	20 - 30

Chlazení lahví: Chlazení probíhá v chladících pecích (elektrických nebo plynových) podle předem nastavené křivky na konečnou teplotu 50° C. Po ochlazení procházejí lahve automatickou kontrolou kvality. Nevyhovující lahve, cca 6 %, jsou spolu se sklovinou z granulace používány po rozdrčení znovu jako vstupní surovina pro výrobu skla. Kvalitní lahve jsou dále zušlechtny polymerovým postřikem (chemické složení nebylo poskytnuto, toxikologické vlastnosti: LC 50 dávka > 1200mg/m³ 4 h).

Balení: Provádí se na paletizátorech. Zde se lahve přemístí na dřevěné palety (hmotnost jedné palety = 23 kg), mezi jednotlivé vrstvy se vloží papírové proložky palety (hmotnost jedné proložky = 0,7 kg) a na celou paletu se navlékne PE fólie, která se tepelným procesem smrští. Obsah jedné palety je 960 - 980 kusů lahví. Výrobní proces je tím ukončen a výrobky na paletách se přemísťují do skladů nebo kamionovou přepravou přímo k zákazníkům. Objem jednoho naplněného kamionu s přívěsem je 32 palet.

Vstupy sklárny A: základní prvotní a druhotné suroviny, voda na chlazení, elektrická energie, zemní plyn, pomocné a balící materiály (tab. 10).

Výstupy sklárny A: skleněné lahve, emise do ovzduší, emise do vody, energetické emise, tuhé odpady (tab. 10).

Tab. 10: Inventarizační matice výroby skla - varianta A

funkční jednotka (15 000 lahví = 10 500 litrů): **tj.15000*0,417=6255kg**

vstupy		jednotky	vstup	příprava	mísení,	tvarování	chlazení,	kontrola,	Celkem	
			surovin	surovin	přepřava					tavení
základní suroviny	sklářský křemičitý písek	kg	1282						1282	
	soda těžká	kg	474						474	
	vápenec	kg	271						271	
	znělec	kg	137						137	
	sádrové pojivo	kg	18,14						18	
	loppa	kg	81,36						81	
	portachrom	kg	23,17						23	
	střepey z výroby skla	kg		1246					1246	
	střepey z CR odpadu	kg	3116						3116	
	voda na chlazení	litry					270		270	
energie a palivo	elektrická energie	kWh		2,06	32,80	164	701	51,03	9,49	960
	zemní plyn	m3				1164	77,23	23,60	8,63	1273
materiál pomocný	olej, olejová emulze	litry					0,19			0,19
	nástřík chlorid ciničitý	litry					0,139			0,14
	nástřík polymer	litry						0,023		0,02
balící	palety - dřevo	kg							352	352
	proložky - papír	kg							75	75
	PE fólie	kg							17,82	17,82
výstupy										
emise do ovzduší	tuhé emise	g				1902				1902
	SO2	g				9396				9396
	NOx	g				33031				33031
	CO	g				239				239
	Cl	g				419				419
	F	g				126				126
	Kovy I. třída	g				0,439				0,44
	Kovy II. třída	g				46,55				46,55
vody	BSK-5	g					0,972			0,97
	CHSK-Cr	g					5,4			5,40
	fenoly 1	g					0,008			0,008
	nepolární extrahovatelné látky	g					0,302			0,30
	nerozpustné látky	g					2,16			2,16
	rozpustné látky	g					210			210
	pH						7,2			7,20
energetické	hluk	Decibelů					105			105
tuhé odpady	střepey	kg							395	395
	masný odpad (hadry, štětky, piliny)	kg					0,072			0,07

Technologie výroby skloviny a lahví ve sklárně B se v hlavních procesech shoduje s technologií používanou ve sklárně A. Následující tabulka zobrazuje rozdíly v technologických procesech výroby obou skláren.

Ostatní procesy probíhají bez výraznějších rozdílů.

Hlavní rozdíl u materiálových toků spočívá v rozdílném použití některých surovin a odlišné spotřebě jednotlivých surovin.

Vstupy sklárny B: základní prvotní a druhotné suroviny (tab. 12), voda na chlazení, elektrická energie, zemní plyn, pomocné a balící materiály (tab. 12)

Výstupy sklárny B: skleněné lahve, emise do ovzduší, emise do vody, energetické emise, tuhé odpady

Tab. 11: Rozdílné technologické postupy ve sklárně A a B

technologické procesy	sklárna A	sklárna B
příprava surovin	drcení vlastních střepů	třídění a drcení všech střepů na recyklační lince
Tavení	přebytečné teplo vyhřívá výrobní halu	přebytečné teplo je využito pro vyhřívání výrobní haly a ve spalínovém kotli na výrobu tepla a teplé vody pro celý podnik; průměrný výkon kotle 3 MW

Tab. 12: Inventarizační matice výroby skla -varianta B

funkční jednotka (15 000 lahví = 10 500 litrů): **tj.15000*0,432=6480kg**

		jednotky	vstup surovin	příprava surovin	tavení	tvárování, granulace	chlazení	kontrola, balení	Celkem
vstupy základní suroviny	sklářský křemičitý písek	kg	2444						2444
	soda těžká	kg	720						720
	vápenec	kg	543						543
	dolomit	kg	407						407
	živec	kg	380						380
	síran sodný	kg	19						19,01
	portachrom	kg	27						27,16
	střepe z výroby skla	kg		1358					1358
	střepe z ČR odpadu	kg		1358					1358
	voda na chlazení	litry				3500			3500
energie a palivo	elektrická energie	kWh			tavení 605 + ostatní 1282				1887
	zemní plyn	m3			894	267			1161
materiál pomocný	olej na mazání	litry				0,54			0,54
	teplý postřik	kg				0,08			0,078
	studený postřik	litry					0,026		0,026
balící	palety - dřevo	kg						359,00	359
	proložky - papír	kg						76,56	77
	PE fólie	kg						18,20	18
výstupy									
emise do ovzduší	tuhé emise	g			39,91				39,91
	SO2	g			58,05				58,05
	NOx	g			421				421
	CO	g			14,51				14,51
	HCl	g			21,04				21,04
	HF	g			1,45				1,45
	kovy	g			6,99				6,99
vody	BSK - 5	g				468			468
	CHSK	g				1321			1321
	nepolární extrahovatelné	g				28			28,49
	nerozpustné látky	g				455			455
	rozpustné látky	g				3380			3380
	pH					7,87			7,87
energetické	teplo - využití spalínový kotel	kWh			-856				-856
	hluk	Decibelů				95 - 105			95 - 105
tuhé odpady	oleje	kg				0,23			0,23
	masné hadry	kg				0,137			0,14
	střepe	kg						776	776

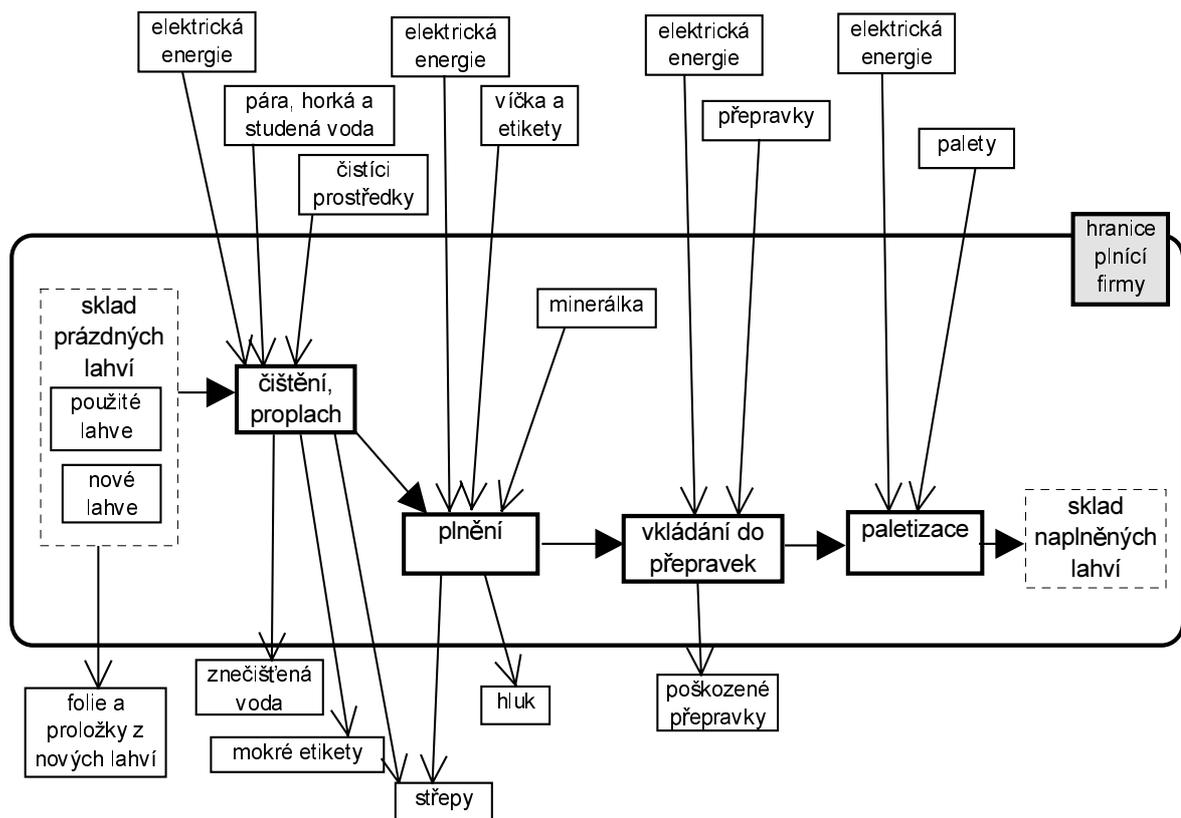
4. 1. 3. Mytí a plnění skleněných lahví

Skleněné lahve na minerální vodu se opakovaně používají k plnění díky vlastnostem skla a zálohovému systému výkupu. Počet oběhů je odvozen v oddílu 3.6. Následuje popis procesů mytí, plnění a balení skleněných lahví ve dvou různých plnicích firmách.

Technologie firmy P

Schematické znázornění technologického procesu, energetických a materiálových toků spojených s mytím a plněním skleněných lahví je uvedeno na následujícím obrázku.

Obr. 6: Schéma toků a procesů spojených s plněním minerálních vod do skleněných lahví



Mytí: Všechny lahve (nové i použité) procházejí před plněním horkým a studeným mytím, které je pomocí louhu zbavuje nečistot (etiket, zbytků nápojů a špíny). Při mytí lahví vzniká tuhý odpad - střepy a mokré etikety, znečištěná voda, papírové proložky a fólie z nových lahví. Voda z mytí prochází čistírnou odpadních vod a pak se vypouští do řeky.

Plnění: Před plněním procházejí lahve kontrolou kvality (vizuální). Vymyté lahve se po pásovém dopravníku přesunují k plnicímu zařízení. Zde jsou lahve naplněny minerální vodou, uzavřeny kovovým víčkem a opatřeny papírovými etiketami. Plnicí proces je značně hlučný, hladina hluku se pohybuje v rozmezí 75- 91 dB. Při plnicím procesu nevznikají žádné emise a odpady kromě střepů - nekvalitních lahví vyřazených při kontrole (1-2 %).

Balení: Naplněné skleněné lahve se vkládají do přepravky z umělé hmoty (PVC). Obsah jedné přepravky činí 12 lahví. Plné přepravky se dále skládají na dřevěné palety a horní vrstvy se převazují provazem. Na jednu paletu se naloží 32 přepravky, tj. 384 lahví. Palety se přepravují vysokozdvíhacími vozíky do skladu a na nákladní auta. Objem jednoho naplněného kamionu s přívěsem je 34 palet. Při balení vzniká tuhý odpad ve formě poškozených přepravky a palet. Lahve v přepravkách jsou dopravovány přes jednotlivé mezisklady do prodejen a po vrácení použitých lahví se dostávají zpět do plnicích podniků. Tyto přepravky lze používat přibližně na 25 oběhů. Hmotnost jedné přepravky je 1,7 kg.

Vstupy: nové a použité skleněné lahve, elektrická energie, voda, pára, čisticí prostředky, balicí materiál (tab. 13) (víčka, etikety a minerální voda nejsou předmětem analýzy).

Výstupy: naplněné uzavřené lahve, emise do vody, hluk, střepty a další tuhé opady (tab. 13)

Tab. 13: Inventarizační matice mytí a plnění - firma P

funkční jednotka (15 000 lahví = 10 500 litrů)						
vstupy		jednotky	mytí	plnění	balení, manipulace	Celkem
základní materiály	lahve nové 2,5 %	ks	375			375
	použité lahve 99,5 %	ks	14925			14925
	voda	litry	5563			5563
	pára	kg	452			452
čisticí prostředky	louh sodný	litry	21			21
	argocid 66	litry	1,95			1,95
	argopur WZ	litry	2,16			2,16
	desinfekce	litry	0,118			0,118
elektrická energie		kWh	47	49	60	156
balicí materiál	palety - dřevo	kg			898	898
	přepravky	kg			2125	2125
výstupy						
emise do vody (odtok z ČOV)	BSK-5	g	2531			2531
	CHSK-Cr	g	612			612
	nerozpustné látky	g	101			101
	rozpustné látky	g	5602			5602
	pH		6,98			6,98
tuhé odpady	střepty 2 %	kg	63	63		126
	mokré etikety	kg	10,18			10,18
	poškozené přepravky	kg			12,75	12,75
	PE fólie	kg	0,88			0,88
	papírové proložky	kg	3,7			3,70
energetické emise	hluk	Dec.		75-91		91

Technologie firmy M

Procesy mytí, plnění a balení probíhají v podniku M stejným způsobem, ale v menším rozsahu. Jediným rozdílem je mytí přepravek, ke kterému používá firma M vodu z mytí lahví. Znečištěná voda z mytí se vypouští do kanalizace. Vzhledem k rozsahu výroby není nutné používat čistírnu odpadních vod. Kvalita vypouštěné vody se pravidelně testuje a kontroluje.

Poskytnuté údaje o energetických a materiálových tocích nejsou dostatečně přesné pro účely studie. Spotřeba elektrické energie je udána na celý provoz firmy bez rozlišení, zda-li jsou plněny skleněné nebo PET lahve, množství tuhých odpadů je udáno v závislosti na velikosti sběrného kontejneru a frekvenci odvozu bez ohledu na skutečné množství odpadů, spotřeba louhu při mytí je udána za měsíc bez specifikace používaných obalů a množství směn.

Vstupy: nové a použité skleněné lahve, elektrická energie, voda, pára, čisticí prostředky, balicí materiál, (víčka, etikety, minerální voda - nejsou předmětem analýzy).

Výstupy: naplněné uzavřené lahve, emise do vody, hluk, střepty a další tuhé odpady.

Tab. 14: Inventarizační matice mytí a plnění – firma M
funkční jednotka (15 000 lahví = 10 500 litrů)

vstupy		jednotky	mytí	plnění, balení, manipulace	Celkem
základní materiály	lahve nové 2,5 %	ks	375		375
	lahve použité 99,5 %	ks	14925		14925
	voda	litry	8800		8800
	louh	kg	9,1		9,1
elektrická energie		kWh	81,6	52,2	134
balící materiál	palety - dřevo	kg		897	897
	přepravky	kg		2125	2125
výstupy					
emise do vody	BSK-5	g	2050		2050
	CHSK-Cr	g	3872		3872
	nerozpustné látky	g	52,8		52,8
	rozpustné látky	g	5174		5174
	saponát	g	2,8		2,8
	pH		10,1		10,1
tuhé odpady	střepy	m ³	0,12		0
	mokrý etikety	m ³	0,16		0,16
	PE fólie	kg	0,88		0,88
	papírové proložky	kg	3,7		3,70

4. 1. 4. Přeprava skleněných lahví

Analýza přepravy skleněných lahví zahrnuje zobrazení vlivů způsobených spotřebou - spalováním motorové nafty při dodávce nových lahví ze skláren k výrobci minerálních vod, přepravu plných lahví od výrobce minerálních vod do obchodů, přepravu prázdných použitých lahví z obchodů zpět do plnicí firmy a přepravu zmetků vzniklých při plnění a střepech ze spotřeby do skláren. Analýza nezahrnuje zpětnou cestu prázdného kamionu z plnicí firmy do skláren, protože při zpětné cestě se kamióny často využívají k přepravě jiných nákladů. Dále je vynechána zpětná cesta nákladního vozu přepravujícího střepech do skláren, neboť sběrné vozidlo jede prázdné v obou sledovaných systémech.

Předpokládaná vzdálenost všech tří druhů přepravy činí 300 km (jedna cesta).

Tab. 15: Spotřeba nafty při dopravě funkční jednotky skleněných lahví

náklad	skutečná hmotnost nákladu kg	maximální hmotnost nákladu na 1 kamion kg	spotřeba nafty na maximální náklad l/100 km	poměr skutečného a max. nákladu %	spotřeba na skutečný náklad l/300 km
nové prázdné lahve	6 745	14 110	41	48	58,79
plné lahve	19 807	20 000	46	99	136,67
použité prázdné lahve*	9 196	9 000	34,5	102	105,75
střepech z plnění, ze spotřeby	252	20 000	46	1,26	1,74
celková skutečná spotřeba					303

* podle předpokladu v části 3.1.5. se do plnicích firem vrací cca 98 % použitých lahví

Zobrazení toků spojených s dopravou lahví

Pro zjištění vstupních a výstupních toků spojených s výrobou a spotřebou motorové nafty je použit vzorec pro výpočet využití kamionu a přepočtová tabulka vstupů a výstupů ze studie APME [2].

Pro použití vzorce předpokládáme maximální hmotnost nákladu 20 tun a výchozí přepravní vzdálenost 300 km.

Vzorec pro výpočet koeficientu (přeprava 1 kg na 100 km):

$$100 \text{ (km)} / 20\,000 \text{ (max. hmotnost v kg)} \times 1 \text{ (skutečná hmotnost v kg)} = 0,005 \text{ kamion / km}$$

Tab. 16: Koeficienty pro přepravu skleněných lahví

<i>náklad</i>	<i>použitý vzorec</i>	<i>výsledný koeficient</i>
nové prázdné lahve 100%	$300/20000*6745$	101,18
nové prázdné lahve 2,5 %	$300/20000*6745*0,025$	2,53
plné lahve	$300/20000*19807$	297,10
použité prázdné lahve	$300/20000*9196$	137,94
střeby ze spotřeby a z plnění	$300/20000*252$	3,78
celkový koeficient		441

Tab. 17: Inventarizační matice přepravy skleněných lahví (přepravní vzdálenost 300 km)

jednotka (15 000 lahví 0,7 l = 10 500 litrů)

vlivy		výchozí množství (20 000 kg/ 1 km)	CELKEM SKLO 40c
<i>KOEFICIENT</i>		<i>1</i>	<i>441</i>
suroviny v MJ (feedstock)	uhlí	0,456	201
	ropa	0,092	41
	zemní plyn	0,008	3,53
palivo v MJ	uhlí	0,448	198
	ropa	22,88	10088
	zemní plyn	1,005	443
	vodní	0,012	5,29
	jaderná	0,207	91
Součet paliva a surovin v MJ		25	11070
Ost.suroviny pro výrobu v mg	baryt	0,3	132
	bauxit	0,2	88
	chlorid sodný	1,5	662
	feromangan	0	44
	železná ruda	35	15611
	vápenec	13	5513
	olovo	0	88
	voda	1456	642096
Emise v g: do vzduchu	tuhé emise	1,5	662
	CO	12,3	5424
	CO ₂	1695	747495
	Sox	8,4	3704
	Nox	17,1	7541
	HCl	0,010	4,41
	organ.- chlór	0,001	0,44
	uhlovodíky	5,440	2399
	Kovy	0,001	0,44
do vody	CHSK	0,003	1,10
	BSK	0,002	0,93
	Na ⁺	0,002	0,88
	Kyselé jako H ⁺	0,006	2,65
	Kovové ionty	0,002	0,88
	Cl ⁻	0,030	13
	nerozpustné tuhé částice	4,600	2029
	uhlovodíky	0,020	8,82
	SO ₄	0,005	2,21
	rozpustné tuhé částice	0,001	0,44
tuhé opady	minerální-z těžby surovin	54,6	24079
	inertní /kaly a popel/	3,5	1544
	smíšený průmyslový	2,1	926

4. 2. Analýza systému životního cyklu PET lahví

Přehled subsystémů životního cyklu PET lahví:

- a) výroba PET granulátu
 - b) výroba PET lahví
 - c) plnění
 - d) přeprava PET lahví
 - e) odpad při prodeji a spotřebě nápojů - fólie
 - f) závěrečné fáze životního cyklu PET lahví (recyklace, spalování, ukládání na skládce)
- PET (polyethylentetraftalát) pro výrobu nápojových lahví se do České republiky převážně dováží ze zahraničí. Jedním z největších světových výrobců dodávajících PET na český trh je firma Eastman z USA. Z evropských výrobců zásobuje náš trh firma Hoechst z Německa. Údaje o technologii výroby, energetických a materiálových tocích obou těchto firem byly publikovány [3]. Popis výroby PET granulátu se opírá o tuto literaturu.

4. 2. 1. Výroba PET granulátu

Základními surovinami pro výrobu PET granulátu je ropa a zemní plyn. PET granulát se vyrábí dvěma způsoby. Při prvním způsobu se z rafinované ropy nebo ze zemního plynu získá para-xylen, jehož následnou oxidací se získá kyselina tereftalová. Tato kyselina projde čištěním. Vyčištěná kyselina následně reaguje s ethylenglyolem. Výsledkem reakce je bishydroxyethyl tereftalát (BHET) a voda. Při druhém způsobu vznikne oxidací para-xylynu také kyselina tereftalová, která ihned reaguje s methanolem. Touto reakcí vznikne dimethyltereftalát (DMT). Po následné reakci DMT s ethylen glykolem se získá opět BHET.

V další fázi projde BHET tekutou polymerizací při níž vzniká amorfní PET. Pro výrobu PET granulátu projde amorfní PET polymerací v tuhém stavu, která zvyšuje molekulovou hmotnost polymeru a produkuje granulát vhodný pro výrobu PET lahví.

Inventarizační matice subsystémů výroby PET granulátu podle AMPE

Data o energetických a materiálových tocích uvedená v tabulce 18 zahrnují všechny výrobní procesy od těžby surovin po výrobu PET granulátu. Jednotlivé hodnoty získaných údajů o tocích byly vypočteny jako střední hodnoty zúčastněných podniků v závislosti na objemu výroby, proto představují vážený průměr. Podle výše uvedené studie byly informace o tocích získány od výrobců 160 000 tun PET, které byly vyrobeny v období mezi roky 1989 a 1991. Toky základních surovin pro výrobu PET jsou udány v MJ jako tzv. feedstock energie. Tato energie představuje energii získanou ze základních surovin, které vstupují do systému a jsou použity jako materiál a ne jako palivo.

Největší rozdíly byly zachyceny v celkové energii potřebné pro výrobu. Měřené hodnoty celkové energie na 1 kg PET granulátu se pohybují v rozmezí od 66 do 98 MJ/kg.

Spotřeba základních surovin pro výrobu 1 kg PET granulátu: ropa (0,64 kg = 33,18 MJ) a zemní plyn (0,23 kg = 12,63 MJ).

Tab. 18: Inventarizační matice výroby PET granulátu

funkční jednotka (7 000 lahví 1,5 l = 10 500 litrů): tj. 280 kg

vstupy			vstup surovin	polymerace, výroba granulátu
základní suroviny (feedstock)	uhlí	MJ	jednotky 4	
	ropa	MJ	9295	
	zemní plyn	MJ	3538	
palivo a energie	uhlí	MJ		1091
	ropa	MJ		4526
	zemní plyn	MJ		4670
	vodní	MJ		154
	jaderná	MJ		230
	ostatní	MJ		28
součet energie paliva a surovin		MJ		23535
pomocné suroviny	bauxit	g	84	
	chlorid sodný	g	1372	
	železná ruda	g	252	
	vápenec	g	112	
	voda	kg		4900
výstupy				
emise do ovzduší	tuhé emise	g		1064
	CO	g		5040
	CO ₂	g		644000
	SO _x	g		7000
	NO _x	g		56840
	HCl	g		31
	organické látky	g		2632
	uhlovodíky	g		11200
	kovy	g		2,8
vody	CHSK	g		924
	BSK	g		280
	Na ⁺	g		420
	kyselé látky - H ⁺	g		50
	kovové ionty	g		34
	Cl ⁻	g		199
	rozpustné organické látky	g		3640
	nerozpustné tuhé částice	g		179
	detergenty	g		6
	uhlovodíky	g		112
	SO ₄	g		11
	rozpustné tuhé částice	g		162
ostatní dusičnany	g		0,28	
tuhé odpady	minerální - z těžby surovin	g		8540
	inertní /kaly a popel/	g		2688
	smíšený průmyslový	g		980
	regulované z chemické výroby	g		28
	inertní z chemické výroby	g		532

4. 2. 2. Výroba PET lahví

Technologie výroby lahví z PET granulátu je popsána v literatuře [2], kde jsou uvedeny také materiálové a energetické toky spojené produkcí lahví. Pro ověření těchto informací byly získány údaje o technologiích a tocích spojených s výrobou od dvou producentů PET lahví v ČR. První z nich, firma C, používá granulát od firmy Hoechst. Druhý výrobce, firma O, vyrábí PET lahve z granulátu firmy Eastman. Následuje popis technologie výroby a rozdílů zpracování obou zmiňovaných granulátů.

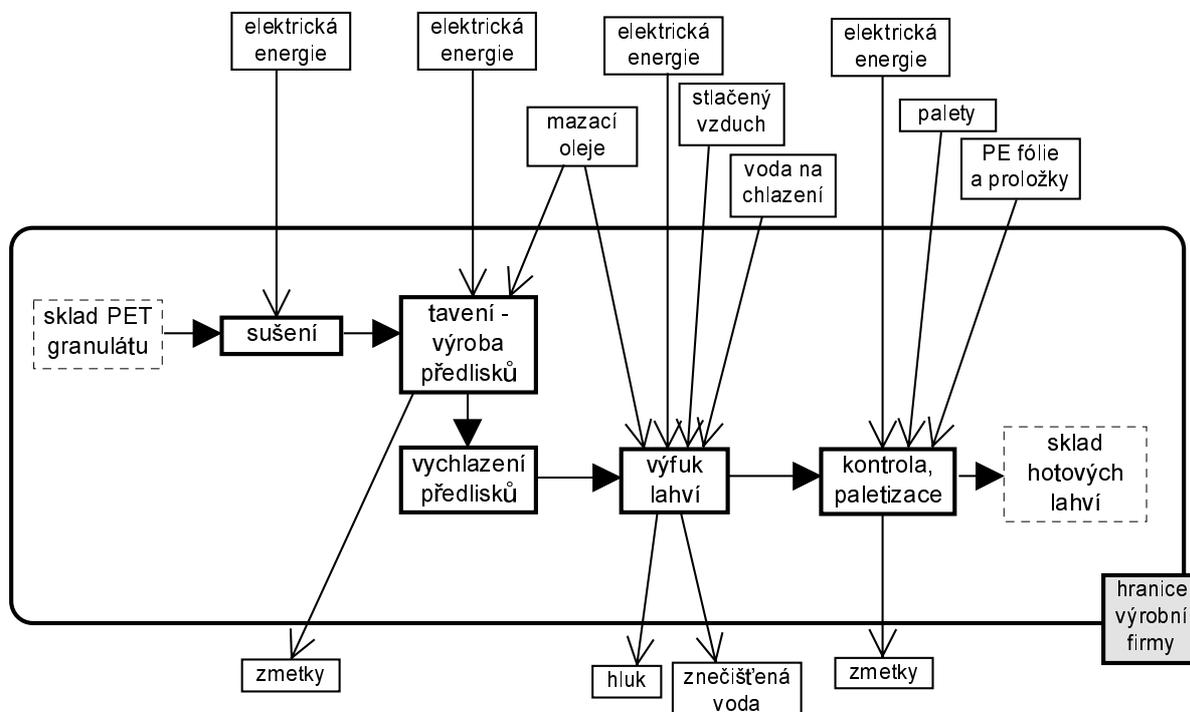
Výroba PET lahví z granulátu firmy Hoechst

PET lahve se vyrábějí ve třech základních procesech: sušení PET granulátu, výroba předlisků a vyfukování lahví.

Nízká teplota tavení PET granulátu a používaná technologie výroby umožňuje vyrábět přetržitým procesem na rozdíl od výroby skleněných lahví.

Schéma výrobních procesů, energetických a materiálových toků spojených s výrobou PET lahví ve firmě C ukazuje následující obrázek.

Obr. 7: Schéma výroby PET lahví



Popis technologických procesů výroby:

Sušení PET granulátu: Zajišťuje získání optimální hodnoty vnitřní viskozity potřebné pro zpevnění makromolekulových řetězců PET.

Výroba předlisků: Suchý granulát postupuje do šnekového stroje pro injekční vstřikování. Vyrábějí-li se barevné lahve, přidává se v této fázi ke granulátu odpovídající barvivo. Granulát je nejprve ve vstřikovací části stroje roztaven při teplotě 160 °C a vstřikován do chladné formy. V další části - uzavírací jednotce jsou nejprve drženy obě poloviny formy u sebe, během vstřiku a chlazení, a potom se forma otevře a vytvarovaný předlisk je vyhozen do kontejneru na předlisky. Hmotnost jednoho předlisku je 40g.

Vzhledem k tomu, že stroj pracuje přetržitě, vznikají na začátku a na konci výroby předlisky, které nesplňují kvalitativní požadavky. Další zmetky vznikají při změně barvy nebo velikostního sortimentu. Zmetky tvoří přibližně 2 % produkce předlisků.

Vyfukování lahví: Konečný výrobek se získá vyfouknutím předlisku. Předlisk se nejprve ohřeje na požadovanou teplotu a pak se vyfoukne do požadovaného tvaru. Formy jsou chlazené vodou, která je v uzavřeném cyklu. Při vyfukovacím procesu se hladina hluku v okolí stroje pohybuje kolem 85 Decibelů. Hotový výrobek prochází dále kontrolou kvality. Při procesu vyfukování vznikne cca 1% zmetků ze vstupních předlisků.

Balení: Probíhá na paletizátorech. Lahve se skládají v šesti vrstvách na dřevěné palety. Mezi jednotlivé vrstvy se vkládají papírové proložky a na celou paletu se navlékne PE fólie, která se tepelným procesem smrští. Obsah jedné palety je 780 kusů lahví. Výrobní proces je tím ukončen a výrobky na paletách se přemísťují do skladů nebo kamionovou přepravou přímo k zákazníkům. Objem jednoho plného kamionu s přívěsem je 30 - 33 palet.

Toxické látky: Při tavení PET granulátu a při injekčním vstřikování může vznikat acetaldehyd (AA). Malá zbytková množství se podle [21] nepovažují pro člověka za nebezpečná. AA může ovlivnit chuťové vlastnosti obsahu nealkoholického nápoje typu Coca-Coly uzavřeného v obalu. Množství AA uvolňované při vstřikování závisí na teplotě tavení a době držení PET v roztaveném stavu. K omezení rizika úniku AA se doporučuje snížení teploty taveniny a co nejrychlejší provádění tavicích procesů.

Vstupy: PET granulát, barvivo, elektrická energie, mazivo na stroje, voda a obalový materiál (tab. 21).
Výstupy: PET lahve, zmetky, ostatní tuhé odpady, hluk a velice malé znečištění vody.

Tab. 19: Inventarizační matice výroby PET lahví - varianta Hoechst

funkční jednotka (7 000 lahví * 1,5 l = 10 500 litrů): tj. 280 kg PET

		jednotky		výroba předforem	vyfukování lahví	kontrola, balení, manipulace	Celkem
vstupy							
základní materiál	PET granulát 103 %	kg	290				290
	elektrická energie	KWh	32,15	158	331	1,13	522
pomocné materiály	voda	litry			NA*		0,0
	mazací oleje	litry		NA*	NA*		0,0
balicí materiál	palety - dřevo	kg				207	207
	proložky - papír	kg				44,1	44
	PE fólie	kg				14,4	14,4
výstupy							
tuhé odpady	zmetky 3 %	kg		5,80	2,84		8,6
	hluk	Dec.			85-88		88

NA* - údaje nejsou dostupné, (většina vody cirkuluje v systému)

Výroba PET lahví z granulátu firmy Eastman

Výrobní procesy jsou shodné jako při zpracování materiálu od firmy Hoechst. Jediným rozdílem zpracování granulátu Eastman je možnost využití zmetků vzniklých při vstřikování předlisků a vyfukování lahví znovu ve výrobě. Tento způsob recyklace zmetků používá firma O. Čisté zmetky jsou rozdrčeny a přidávány k PET granulátu. Technologický postup firmy Eastman udává, že směs pro tavení smí obsahovat až 10% zmetků.

Údaje o materiálových a energetických tocích firma O neposkytlá.

Data o jednotlivých tocích spojených s výrobou PET lahví s využitím zmetků, převzatá z literatury [2], jsou po přepočtu na funkční jednotku uvedena v tabulce.

Tab. 20: Inventarizační matice výroby PET lahví - varianta Eastman

funkční jednotka (7 000 lahví 1,5 l = 10 500 litrů): tj. 280 kg

vstupy			výroba předforem a lahví
zákl. materiál	PET granulát 100 %	kg	280
energie z:	uhlí	MJ	3800
	ropa	MJ	638
	zemní plyn	MJ	214
	vodní	MJ	76
	jaderná	MJ	1750
	ostatní	MJ	1,96
součet elektrické energie		MJ	6479
pomocná surovina	voda	kg	336
balící materiál	palety	kg	NA *
	proložky	kg	NA *
	PE fólie	kg	NA *
výstupy			
emise do ovzduší (z výroby energie)	tuhé emise	g	1792
	CO	g	274
	CO ₂	g	448000
	SO _x	g	4760
	NO _x	g	1512
	HCl	g	76
	HF	g	2,80
	uhlovodíky	g	364
	kovy	g	0,56
	vody	CHSK	g
BSK		g	0,56
nerozpustné tuhé částice		g	42
tuhé opady	minerální - z těžby paliv	g	25760
	inertní /kaly a popel/	g	7868
	smíšený průmyslový	g	56

NA* údaje nejsou dostupné

4. 2. 3. Plnění PET lahví

PET lahve k plnění minerální vody jsou určeny na jedno použití. S plněním PET lahví jsou spojeny tři procesy: výplach, plnění a balení. Stejně jako v subsystému plnění skleněných lahví není do analýzy zahrnuta technologie výroby jednotlivých minerálních vod a s nimi související materiálové a energetické toky.

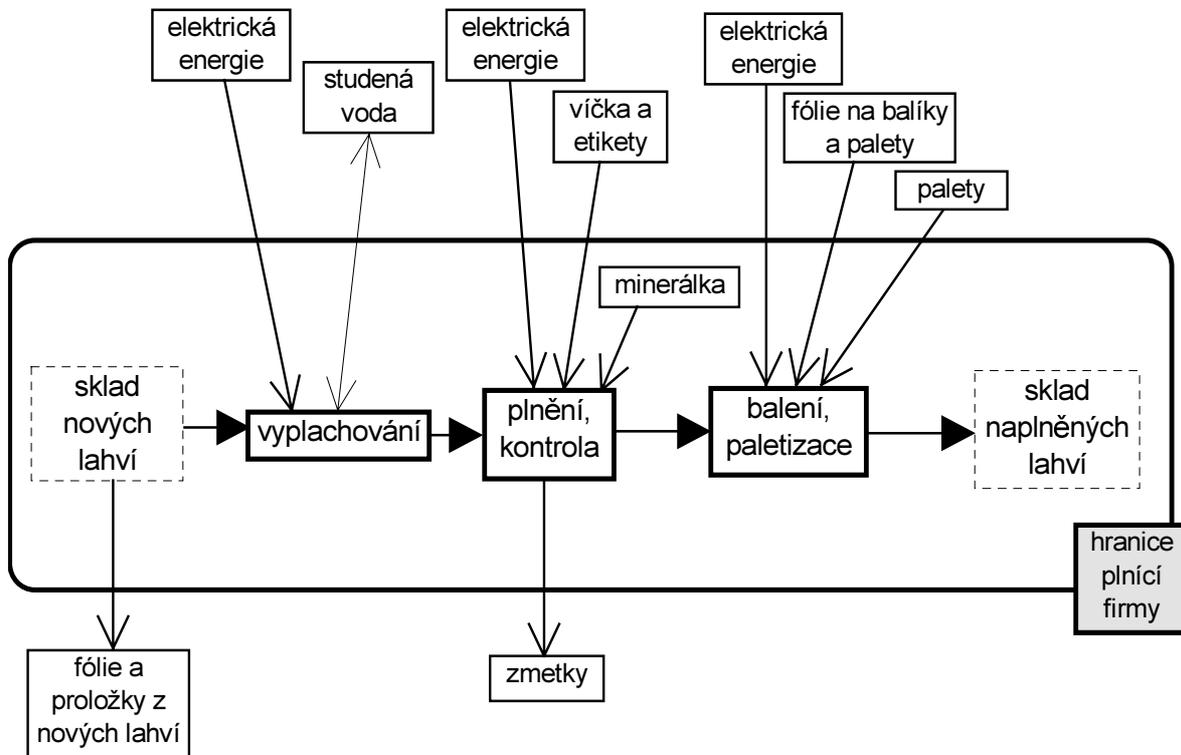
Popis technologických procesů:

Výplach a plnění: Nové lahve jsou nejprve vybaleny z folií a proložek a vypláchnuty vodou. Čisté lahve se po pásovém dopravníku přesunují k plnicímu zařízení, kde se kontroluje jejich kvalita. Zde jsou lahve naplněny minerální vodou, uzavřeny plastovým víčkem a opatřeny příslušnými papírovými etiketami. Hluk při plnicím procesu nepřesahuje přípustnou hladinu pro pracovní prostředí.

Balení: Naplněné lahve se balí do spotřebitelských balíků po šesti lahvích. Na toto balení se připevňuje páska 3M sloužící k uchopení a nošení balíků. Páska 3M je vyrobena z plastu a papíru. Jednotlivé balíky se dále skládají na dřevěné palety. Plné palety jsou obalovány PE folií, která se tepelným procesem smrští. Obsah jedné palety je 504 kusů lahví. Výrobní proces je tím ukončen a výrobky na paletách se přemísťují do skladů nebo kamionovou přepravou přímo k zákazníkům. Objem jednoho naplněného kamionu s přívěsem je 32 palet.

Schéma jednotlivých procesů, energetických a materiálových toků spojených s plněním a balením PET lahví ukazuje následující obrázek.

Obr. 8: Schéma plnění PET lahví



Inventarizační matice subsystému plnění PET lahví

Vstupy: PET lahve, voda na proplach, minerální voda, víčka, etikety, elektrická energie, PE fólie, páska 3M, palety.

Výstupy: naplněné PET lahve, zmetky, tuhý odpad (použité fólie, proložky, poškozené palety).

Tab. 21: Inventarizační matice plnění PET lahví

funkční jednotka (7 000 lahví = 10 500 litrů): 280 kg PET

vstupy		jednotky	proplach	plnění	balení, manipulace	Celkem
materiály	PET lahve 101 %	ks	7070			7070
suroviny	voda na výplach	kg	1872			1872
	elektrická energie	kWh	91		70	161
balící mate	palety - dřevo	kg			319	319
	smrštiteľná a ovinovací PE fólie	kg			38	38
	páska 3M	kg			0,66	0,66
výstupy						
tuhé odpady	zmetky 1 %	kg		2,83		3
	papírové proložky	kg	44,41			44
	PE fólie	kg	14,50			15

4. 2. 4. Přeprava PET lahví

Analýza přepravy PET lahví zahrnuje zobrazení efektů způsobených spotřebou - spalováním motorové nafty při dodávce nových lahví od výrobců PET lahví k výrobcům minerálních vod, přepravu plných lahví od výrobce minerálních vod do obchodů, přepravu prázdných palet z obchodů zpět do plnicí firmy a přepravu použitých PET lahví ke zneškodnění nebo k recyklaci. Analýza nezahrnuje zpětnou cestu prázdného kamionu z plnicí firmy k výrobcí PET lahví, protože při zpětné cestě se kamióny často využívají k přepravě jiných nákladů. Dále je vynechána zpětná cesta nákladního vozu přepravujícího použité PET lahve (odpad), neboť sběrné vozidlo jede prázdné v obou sledovaných systémech.

Tab. 22: Spotřeba nafty při dopravě funkční jednotky PET lahví

	skutečná hmotnost nákladu	maximální hmotnost nákladu na 1 kamion	spotřeba nafty na maximální náklad	poměr skutečného a max. nákladu	skutečná spotřeba na funkční jednotku
	kg	kg	l/100 km	%	l/300 km
nové prázdné lahve	546	1786	31	31	28,41
plné lahve	11217	22968	47	49	68,86
palety od PETu zpět	322	1000	30	32	28,98
použité lahve	350	20000	46	2	2,42
celková skutečná spotřeba					129

Zobrazení toků spojených s dopravou lahví

Tab. 23: Koeficienty pro výpočet toků spojených s přepravou PET lahví (přepravní vzdálenost 300 km)

<i>náklad</i>	<i>použitý vzorec</i>	<i>výsledný koeficient</i>
nové prázdné lahve	$300/20000 \cdot 546 =$	8,19
plné lahve	$300/20000 \cdot 11217 =$	168,26
palety od PETu zpět	$300/20000 \cdot 322 =$	4,83
použité lahve	$300/20000 \cdot 350 =$	5,25
celkový koeficient		187

Tab. 28: Inventarizační matice přepravy PET lahví (přepravní vzdálenost 300 km)

funkční jednotka (7 000 lahví 1,5 l = 10 500 litrů)

vlivy		výchozí množství (20 000 kg/ 1 km)	PET lahve Celkem
<i>KOEFICIENTY</i>		<i>1</i>	<i>187,00</i>
hl. suroviny v MJ (feedstock)	uhlí	0,456	85,27
	ropa	0,092	17,20
	zemní plyn	0,008	1,50
palivo v MJ	uhlí	0,448	83,78
	ropa	22,875	4278
	zemní plyn	1,005	187,94
	vodní	0,012	2,24
	jaderná	0,207	38,71
součet paliva a surovin v MJ		25	4694
pomocné suroviny pro výrobu v g	baryt	0,3	56,10
	bauxit	0,2	37,40
	chlorid sodný	1,5	280,50
	feromangan	0,1	18,70
	železná ruda	35	6620
	vápenec	13	2338
	olovo	0,2	37,40
	voda	1456	272272
Emise do: vzduchu v g	tuhé emise	1,5	280,50
	CO	12,3	2300,10
	CO ₂	1695,0	316965
	SO _x	8,4	1571
	NO _x	17,1	3198
	HCl	0,010	1,870
	organické látky	0,001	0,187
	uhlovodíky	5,440	1017
	kovy	0,001	0,187
vody v g	CHSK	0,003	0,468
	BSK	0,002	0,393
	Na ⁺	0,002	0,374
	kyselé látky	0,006	1,122
	kovové ionty	0,002	0,374
	Cl ⁻	0,030	5,610
	nerozpustné tuhé částice	4,600	860
	uhlovodíky	0,020	3,740
	SO ₄	0,005	0,935
rozpustné tuhé částice	0,001	0,187	
tuhé opady v g	minerální-z těžby surovin	54,6	10210
	inertní /kaly a popel/	3,5	655
	smíšený průmyslový	2,1	392,70

4. 2. 5. Spotřeba PET lahví a nakládání s použitými PET lahvemi

Vyprázdněním obsahu naplněných PET lahví na jedno použití se tento obal stává pro konečného spotřebitele odpadem. V současné době má český spotřebitel dvě možnosti jak naložit s použitými nápojovými PET obaly.

První možností je vyhodit PET lahve spolu s jiným domácím odpadem do popelnice na směsný KO. Za svoz - vyprazdňování popelnic - se platí poplatky.

Druhá možnost - ukládání použitých PET lahví do zvláštních kontejnerů na plasty - je sice bezplatná, ale vyžaduje od spotřebitelů, aby nejprve našli speciální žluté kontejnery v okolí bydliště a donášeli PET lahve 100 - 500 metrů od místa bydliště. Tento systém odděleného sběru byl značně rozšířen (nárůst množství kontejnerů) v roce 1998, ale mnoho spotřebitelů jej ještě nevyužívá. Důvody nízkého využití této možnosti jsou pravděpodobně nedostatečná informovanost, velké donáškové vzdálenosti a nedostatečná kapacita.

Podle studie o složení KO v roce 1994 [32] tvořily PET lahve 10 000 tun z celkového objemu 3 193 000 tun, tj. 0,313 %. Množství KO v posledních pěti letech neustále vzrůstá. Například na území hlavního města Prahy vzrostlo množství KO mezi lety 1994 a 1997 o 6 %. Podle informací od firem D a S dosáhla celková produkce PET lahví v roce 1998 16 tisíc tun. PET obaly použité na minerální vody tvořily 16,7 % z celkového množství PET lahví, tj. 2 667 tun.

Použité PET lahve z popelnic na směsný KO jsou spolu s ostatním odpadem buďto odvezeny na skládku nebo do spalovny KO. V ČR jsou v současné době v provozu tři spalovny (v Praze - Malešicích, Brně a Liberci). Většina KO se na území ČR ukládá na skládky.

PET lahve ze speciálních kontejnerů na plasty jsou zpravidla recyklovány. Do speciálních kontejnerů na plasty jsou však ukládány všechny druhy plastů (PET, PVC, PE, PP, atd.), a proto firmy zajišťující svoz těchto odpadů musí plasty před dodáním k recyklaci roztřídit na jednotlivé druhy. PET lahve se v ČR recyklují dvěma způsoby: produkcí výrobků ze směsných plastů a výrobu PES vláken.

Energetické využití použitých PET lahví při spalování

Použité PET lahve se využívají energeticky spolu s ostatním KO na výrobu tepla a elektrické energie ve spalovnách KO, které splňují přípustné emisní limity pomocí moderní technologie spalování a několikastupňového čištění spalin.

Výhřevnost 1 kg PET dosahuje až 23 MJ [21].

Chemické složení PET: vodík 97 %, kyslík, dusík, pevné látky 3 %. PET není samovznětlivý, ale podporuje hoření.

PET používaný pro výrobu lahví obsahuje jen několik přísad, maximálně 200-250 ppm na katalyzátor, které skončí ve strusce dobře řízeného kotle na spalování. V kvalitní spalovně, kde je spalovací proces dostatečně řízen, PET shoří a vznikne oxid uhličitý a voda. Množství CO₂ je vypočteno z chemického vzorce PET:



Podle literatury [3] je velikost n v rozmezí 100 -200.

Spálením 1 kg PET vznikne 2,29 kg CO₂ (při n=100).

Spálením funkční jednotky (280 kg) PET vznikne 641,2 kg CO₂ a vyrobí se 6 440 MJ energie (1)

(1) Při nedokonalém spalování (nižší teplota, nedostatek kyslíku,...) mohou vznikat CO a dioxiny. K tomu dochází zejména při spalování PET lahví v kamnech a neřízených topeništích.

Ukládání na skládce

Pokud je PET ukládán na skládce, nevznikají žádné emise ani výluhy, protože PET je inertní a stabilní [25]. Záběr půdy na skládce závisí na objemu použitých lahví. Plný objem lahve má přibližně 1,5 l. Pokud je obal maximálně stlačen, zabírá jen 0,15 l. Výsledný objem závisí na způsobu skládkování. Pro tuto analýzu předpokládáme objem jedné lahve na skládce 0,8 l (střední hodnota maximálního a minimálního objemu, ověřena změřením objemu zmačkané lahve). Objem 7 000 lahví tak představuje 5 600 litrů, tj. 5,6 m³.

Recyklace na výrobky ze směsových plastů

Zpracováním plastových odpadů z komunálních i průmyslových zdrojů se zabývají firmy I a J, které používají shodnou technologii.

Technologie zpracování plastové suroviny je suchá, odpad se nepere, etikety ani zbytky nápojů nevadí. Dodaný materiál je nejprve ručně tříděn, neplastové materiály jsou odděleny. Zároveň se plasty třídí na fólie, PET a ostatní. Fólie se teplem spékají do granulí. Ostatní plasty se drtí a melou. Vytríděný PET se částečně prodává do podniku S k výrobě PES vláken. Firma S preferuje průhledné PET lahve z důvodu lepšího využití oproti barevným. Nevyužitelný podíl je uložen na skládce.

Upravené plastové frakce se ve vhodném poměru mísí, směs je homogenizována, roztavena a vtláčena do kovových forem, kde dostává konečný tvar výrobku. Při zpracování nevznikají odpadní látky, znečištění vody ani exhaláty, které by ohrožovaly okolí.

Na 1 kg zpracovaného materiálu je zapotřebí 0,6 kWh elektrické energie.

Výrobky z recyklace směsových plastů: kabelové žlaby, desky, palubky, tyčové profily, přepravní palety a zatravňovací dílce.

V roce 1998 bylo zpracováno touto technologií přibližně 5 200 tun směsných plastů. Firma J udává, že neplastový materiál tvořil 22 % z celkového množství dodaných odpadů. Podíl PET obalů v plastových odpadech značně kolísá, v roce 1998 dosáhl 27 %.

Obě firmy vyrábějí necelou polovinu možné kapacity z důvodu nedostatku materiálů ke zpracování a nízké poptávky po recyklovaných produktech.

Recyklace použitých PET lahví na PES vlákna

PET lahve i PES vlákna jsou vyráběny z podobného polymeru, což umožňuje využití nekvalitních anebo použitých lahví k produkci PES vláken. V ČR se touto recyklací zabývá firma S, která má dlouholeté zkušenosti s recyklací čistých průmyslových PET odpadů (zmetků), fólií a roun. Podnik S zpracovává použité PET lahve na vlákno Tesil 74-78. Z tohoto vlákna se vyrábí netkané textilie (jehlená a výplňová rouna) - např. výplně do zimních bund a spacích pytlů, nosné vložky hydroizolací, podlahových krytin apod.

Popis technologie recyklace

Technologie se skládá ze dvou základních procesů: převedení PET lahví do čisté fóliové drtě a recyklace fóliové drtě do vlákna

Čistá fóliová drť z použitých PET lahví se získává mletím a praním. PET lahve jsou dodávány do podniku S ve slisovaných balících o hmotnosti přibližně 100 kg. Tyto balíky jsou ručně rozvolněny a naloženy na pásový dopravník, který je dopraví do násypky nožového mlýnu. Zde se lahve rozemelou na požadovanou velikost fóliové drtě. Současně se pomocí vody začínají odlučovat nečistoty - papír z etiket, PE z uzavíracích víček, zbytky nápojů a mechanická špína. Následuje transport šnekovým dopravníkem do frikční pračky, kde se odděluje většina nečistot z povrchu namleté drtě. Praní probíhá za zvýšené teploty, případně s použitím přísad. Následuje intenzivní propláchnutí drtě vodou v oplachovém šneku a na vibračním sítu. Nadrcený PE z víček je v průtočné flotační vaně oddělován na základě nižší specifické hmotnosti. Po flotaci se PET drť opláchně vodou, odstředí a dosuší v horkém vzduchu na vlhkost 0,6 % a uloží do vaků. Výsledný produkt má sypanou hmotnost 250 - 350 kg/m³ a je tvořen z 99,8 % PET. Zbytek představují neodlučitelná lepidla, PVC a jiné nečistoty. PE frakce z víček je po odstředění ukládána do vaků a recyklována v jiném podniku. Ze 100 kg slisovaných lahví se získá 80 kg čisté PET drtě.

Voda používaná k praní, která není příliš znečištěna, cirkuluje v systému. Špinavá odpadní voda je odváděna do podnikové čistírny odpadních vod.

Recyklace PET drtě do vlákna začíná tavením v extruderu a dávkováním přísad (matovacího činidla, optického zjasňovače atd.). Technologie recyklace využívá dopolykondenzace taveniny v průtočném reaktoru ve vakuu za teploty 280 °C. Dopolykondenzace je založena na redistribuci různorodých PET molekul. V průtočném reaktoru je upravena vnitřní viskozita na 70 ml/g, což je obvyklá hodnota pro PES stříže. Produkt je z reaktoru vynášen zubovým čerpadlem a dopravován do zvláknovací větve. Průchodem zvláknovacím blokem a tryskou s jemnými otvory se formuje nedloužené vlákno, které se uloží do konví. Nedloužené vlákno se následně dluží na finální výrobek, tj. kadeřená stříž s antistatickou úpravou o jemnosti od 3,6 dtex výše. Stříž se lisuje na hydraulickém lisu do balíků o hmotnosti až 300 kg.

Současná maximální kapacita recyklační linky je 2500 tun PET lahví za rok. Tato kapacita byla v roce 1998 využita přibližně ze 70 %.

Kvalita suroviny pro recyklaci

Kvalita použitých potravinářských PET lahví ovlivňuje kvalitu recyklovaného vlákna. Pevnost recyklovaného vlákna je díky nestejnorodosti a možnému znečištění vstupní suroviny o několik procent nižší než u vlákna z primárních surovin. Naproti tomu má recyklované vlákno vyšší afinitu k barvivům.

Kvalitu vstupní suroviny ovlivňuje:

- chemická modifikace PET lahví od nápojů se liší v závislosti na jednotlivých výrobcích. Tato modifikace se používá k optimalizaci tavení při výrobě lahví. Nejčastěji se používá diethylenglykol, kyselina isoftalová a cyklohexandimethanol až do obsahu několika procent.
- výskyt PET obalů od jiných produktů, např. olejů. Tyto obaly lze také recyklovat, ale mají vliv na zabarvení vlákna.
- výskyt jiných polymerů, kovů, výrobků z gumy a jiných materiálů a
- nadměrné znečištění.

Kvalitativním požadavkům vyhovují nejlépe dodávky z měst a obcí, které organizují separovaný sběr plastů do zvláštních kontejnerů. Firmy zajišťující sběr plastů následně vytřídí PET lahve a ve slisované formě dodávají do podniku S. Většina svozových firem používá ruční třídění na pásovém dopravníku.

Vstupy: použité PET lahve, voda, elektrická energie, přísady (kysličník titaničitý), pára a chlad.

Výstupy: PES vlákna, odpad z výroby (tab. 25), znečištěná voda, hluk.

Tab. 25: Inventarizační matice recyklace PET lahví na PES vlákna
funkční jednotka (7 000 lahví 1,5 l = 10 500 litrů): tj. 280 kg PET

vstupy		jednotky	mletí	praní	výroba PES vlákna	Celkem
suroviny:	slisované balíky PET	kg	350			350
pomocné materiály:	voda z řeky	litry	7000		1016	8016
	voda filtrovaná	litry			2156	2156
	pára	MJ			3668	3668
	chlad	MJ			98	98
	kysličník titaničitý	kg			2,80	3
elektrická energie		kW/h	119		434	553
výstupy						
emise do vody	zbytky nápojů	kg		17,5		17,50
	mechanická špína 10%	kg		1,05		1,05
	PET úlomky a prach 10%	kg		0,7		0,70
tuhé odpady	etikety	kg		24,5		24,50
	PE víčka -druh. surovina	kg		10,5		10,50
	mechanická špína 90%	kg		9,45		9,45
	PET úlomky a prach 90%	kg		6,3		6,30
energetické emise - hluk		Dec.	95			95
meziprodukt	PET drť	kg		280		280
výrobek	PES vlákno	kg			280	280

5. Dosažené výsledky

V této části budou údaje z inventarizačních matic jednotlivých subsystémů životních cyklů skleněných a PET lahví převedeny do sumárních inventarizačních matic. Účelem tohoto agregování a přepočtů je připravit zjištěné údaje z jednotlivých subsystémů pro hodnocení a porovnání dopadů sledovaných životních cyklů.

5. 1. Postup agregace a přepočtů údajů z dílčích inventarizačních matic

1) sladění jednotek jednotlivých kategorií toků

Tab. 26: Použité jednotky v sumárních maticích

kategorie vstupů a výstupů	jednotky
Základní a pomocné suroviny, pomocný a balicí materiál	kg, litry
(základní suroviny vyjádřené ve feedstocku - u PET lahví), palivo a elektrická energie - 1 kWh = 3,6 MJ, zemní plyn - výhřevnost 1 m ³ = 43,135 MJ	MJ
Emise do ovzduší a do vody, tuhé odpady	g

2) seskupení podobných toků do jedné kategorie

3) zahrnutí předpokladu o čtyřiceti oběžích průměrné lahve do analýzy

4) přiřazení emisí do ovzduší spotřebované elektrické energii, která není vyrobena v procesech životních cyklů studovaných obalů

Z důvodu srovnatelnosti obou životních cyklů je třeba zahrnout do hodnocení emise do ovzduší způsobené výrobou energie, kterou zpracovatelé surovin, sklárny, plnárny a firmy recyklující PET obaly odebírají ze sítě a používají pro procesy spojené s životními cykly obou hodnocených obalů. Údaje převzaté z [2] (toky popisující výrobu PET granulátu, výrobu lahví a dopravu obalů) již tyto emise zahrnují.

Následující přepočtová tabulka emisí do ovzduší [28] udává průměrné emise vznikající při výrobě 1 MJ v zařízeních nad 5 MW.

Tab. 27a: Emise do ovzduší vznikající při výrobě 1 MJ elektrické energie

vypouštěné látky	množství
SO ₂	1,8 g
Nox	0,55 g
CO ₂	127 g
tuhé částice	0,431 g

5) uplatnění 5 % hranice významnosti

Údaje uvedené v jednotlivých kategoriích vstupů a výstupů jsou nejprve sečteny a jednotlivé toky jsou pak příslušným součtem vyděleny. Takto je získána hodnota podílu každého toku na celkové hmotnosti toků v dané kategorii. Pomocné a balicí materiály jsou vztaženy k velikosti příslušné funkční jednotky skleněných nebo PET obalů.

6) sestavení závěrečných sumárních inventarizačních matic

Do závěrečných matic jsou vybrány toky, které budou předmětem hodnocení v části 3.3.

Kritéria výběru:

- způsobují-li vybrané toky negativní dopady na životní prostředí,
- významnost na bázi hmotnosti určená v předcházejícím kroku.

5. 2. Sumární inventarizační matice skleněných lahví

Varianta A

Sumární matice je složena z celkových množství jednotlivých kategorií vstupů a výstupů a sestavená pomocí šesti postupných kroků - viz. oddíl 5.1.

krok 3: zobrazení čtyřiceti násobného použití skleněných lahví

Hodnoty toků spojených s úpravou surovin a výrobou lahví zobrazené v oddílu 4 představují pouze jedno použití skleněných lahví. Tyto hodnoty tvoří základ zobrazení 40ti násobného použití skleněných lahví s používáním 2,5 % nových lahví k plnění podle předpokladu z oddílu 3, kde je odvozen koeficient 0,0493. Hodnoty zobrazující 40ti násobné použití skleněných lahví jsou získány vynásobením jednotlivých hodnot toků pro 1 použití koeficientem 0,0493.

Díky tomuto výpočtu se snížil podíl toků spojených s úpravou surovin a výrobou lahví ze 100 % na 4,93 %. Výsledek výpočtu ukazují tabulky 28a a 28b.

krok 4: přiřazení emisí do ovzduší vzniklých při výrobě potřebné elektrické energie

Přiřazení emisí je provedeno v závislosti na spotřebě a původu výroby používané elektrické energie. Procesům výroby těžké sody, spalování zemního plynu ve sklárně A a výrobě energie pro produkci motorové nafty byly již odpovídající emise přiřazeny v jednotlivých subsystémech oddílu 4. 1.

Tab. 27b: Přiřazení emisí do ovzduší spotřebované energii - varianta A

Výpočet emisí na spotřebované množství energie

energie v MJ		úprava surovin	výroba lahví	plnění	
		6,88	171	562	
g na 1 MJ		40,7-33,8 * g/MJ	171 * g/MJ	562 * g/MJ	vzorec výpočtu
SO ₂	1,8	12,38	308	1012	
NO _x	0,55	3,78	94	309	
tuhé emise	0,431	2,97	74	242	
CO ₂	127	873,76	21717	71374	

Výpočet v inventarizační matici - dosazení

SO ₂	g	0,01+12,38	463,9+308	1012
NO _x	g	7,7+3,78	1630,9+94,05	309
tuhé emise	g	0,38+2,97	93,91+74	242
CO ₂	g	7919,9+873,76	21717	71374

krok 5: určení významnosti jednotlivých toků podle hmotnosti

Tab. 28a: Významnost jednotlivých toků v sumární matici skleněných lahví

funkční jednotka (15 000 lahví = 10 500 litrů): 6255 kg

vstupy	40 cyklů	jednotky	těžba a úprava surovin	výroba lahví	plnění lahví	doprava na 40 cyklů	Celkem	významnost
podíl na hodnotách z 1 cyklu		%	2,5+ 97,5/40	2,5+ 97,5/40	100	100		
základní a pomocné suroviny	Celkem suroviny - voda						569	% ze součtu
	sklářský křemičitý písek	kg	167				167	29.30%
	sůl NaCl	kg	38,32			0,662	39	6.85%
	vápenec	kg	94,80			5,513	100	17.64%
	znělec	kg	6,96				7	1,22%
	sádrovec	kg	1,15				1,15	0,20%
	chromová ruda	kg	1,14				1,14	0,20%
	druhotné suroviny	kg	236				236	41.42%
	voda	kg	1284	13	5881	642	7820	1375%
	koks	kg	1,98				1,98	0,35%
	železná ruda	kg				15,60	15,60	2,74%
	ost.-baryt, bauxit, feromangan, olovo	kg				0,351	0,35	0,06%
palivo	zemní plyn	MJ		2711			2711	
	motorová nafta	litry	0,054			303*	303,05	
energie a palivo celkem		MJ	40,69	171	562	11070**	11843	
pomocné materiály	funkční jednotka v kg						6255	% z funkční jednotky
	oleje	litry		0,01			0,01	0,00%
	postřiky na lahve	litry		0,01			0,01	0,00%
	louh	kg			20		20,00	0,32%
	čisticí prostředky	litry			4,12		4,12	0,07%
balící materiál	palety - dřevo	kg		17	898		915	14.63%
	přepravky PVC	kg			85		85	1,36%
	proložky - tvrzený papír	kg		3,70			3,70	0,06%
	folie - polyetylen	kg		0,88			0,88	0,01%
výstupy	Celkem emisí do ovzduší - CO2						24102	% ze součtu
emise do ovzduší	tuhé emise	g	3,350	168	242	662	1075	4.46%
	SO2	g	12,390	772	1012	3704	5500	22.82%
	NOx	g	11,48	1725	309	7541	9587	39.78%
	CO2	g	8794	21717	71374	747495	849380	3524.12%
	CO	g	67	11,80		5424	5503	22.83%
	těkavé látky HCl, HF	g	3,26			4,41	7,67	0,03%
	Cl	g		20,69		0,440	21	0,09%
	F	g		6,22			6	0,03%
	uhlovodíky	g				2399	2399	9.95%
kovy	g		2,32		0,440	2,76	0,01%	

Tab. 28b: pokračování tab. 28a

výstupy - pokračování	jednotky	těžba a úprava surovin	výroba lahví	plnění lahví	doprava na 40 cyklů	Celkem	významnost	
emise do vody	Celkem emisí do vody - pH						10720	% ze součtu
	g		0,05	2475	0,93	2469	23,03%	
	g		0,27	598	1,1	599	5,59%	
	g				0,88	0,88	0,01%	
	g		0,11	98	2029	2127	19,84%	
	g		10	5478	0,440	5489	51,20%	
			0,36	6,98		7	0,07%	
	g				2,56	2,56	0,02%	
	g				0,88	0,88	0,01%	
	g				13	13,00	0,12%	
	g				8,82	8,82	0,08%	
	g				2,21	2,21	0,02%	
energetické	hluk	Dec.	105	91		-		
odpady tuhé	Celkem tuhé odpady						65685	% ze součtu
	g	12,80	3,56			16,4	0,02%	
	g	16191		22930	26548	65669	99,98%	
	Celkem vedlejší produkty a druhotné suroviny						289926	% ze součtu
vedlejší produkty a druhotné suroviny	g	139847				139847	48,24%	
	g		19503	126000		145503	50,19%	
	g			880		880	0,30%	
	g			3696		3696	1,27%	

Výběr toků, které budou předmětem následujícího hodnocení, závisí na tom, zdali zvažovaný tok způsobuje významný negativní dopad na životní prostředí a je-li jeho významnost určená na bázi hmotnosti (tab. 28) vyšší než 5 %.

Popis dopadů působících na životní prostředí u jednotlivých kategorií toků s ohledem na 5 % hranici významnosti

Základní prvotní suroviny pro výrobu skleněných lahví se řadí do kategorie neobnovitelných surovin. Jejich zdroje nejsou nedostatečné, a proto by bylo možné negativní dopad na životní prostředí určit pouze posouzením devastace krajiny způsobené těžbou těchto surovin v konkrétních lokalitách. Základní prvotní suroviny nebudou předmětem hodnocení.

Použití druhotných surovin nepůsobí negativně na životní prostředí, ale šetří primární suroviny a snižuje množství tuhého odpadu. Spotřeba druhotných surovin nebude předmětem hodnocení.

Potřeba vody i přes její velké množství nebude předmětem hodnocení, protože velká část tohoto množství cirkuluje v jednotlivých systémech, ale bude hodnoceno znečištění odpadní vody pomocí látek vnesených do vody.

Ostatní pomocné suroviny (koks, železná ruda, baryt, bauxit, feromangan a olovo) se řadí do kategorie neobnovitelných surovin. Jejich zdroje jsou nedostatečné, ale jejich celkové množství spojené s funkční jednotkou skleněných lahví představuje pouze 7,11 kg (1,3% z celkové hmotnosti všech surovin). Z toho 5,11 kg tvoří železná ruda potřebná při výrobě motorové nafty a 1,98 kg koks potřebný při výrobě těžké sody. Vliv těchto surovin nebude dále posuzován.

Výroba energie a paliv a jejich spotřeba je vyjádřena pomocí emisí vnesených do ovzduší a vody a tuhých odpadů. Celkové množství energie potřebné při procesech spojených s životním cyklem skleněných lahví je ponecháno v závěrečné matici, aby bylo možné porovnat celkovou spotřebu energie u obou hodnocených obalů. Spotřebovaná elektrická energie a zemní plyn k výrobě energie jsou uvedeny v kategorii energie a palivo celkem.

Množství motorové nafty potřebné při těžbě a úpravě surovin (0,054 l) je vzhledem k malému množství vyloučeno ze závěrečné sumární matice. Motorová nafta potřebná k dopravě lahví je obsažena ve formě energie feedstocku v celkové energii spotřebované na dopravu, proto nebude její spotřeba dále uváděna zvlášť.

Pomocné materiály (oleje na mazání strojů, postřiky na lahve a čisticí prostředky) potřebné při výrobě a mytí skleněných lahví dosahují 0,39 % z hmotnosti funkční jednotky (6 255 kg). Největší část pomocných materiálů tvoří louh sodný - 20 kg tj. 0,32 % z funkční jednotky. Hlavní složkou louhu je hydroxid sodný, který představuje minimálně 49 %. Louh může obsahovat nebezpečné látky např. rtuť max. 0,0001 %, kadmium max. 0,0005 %, fosforečnany max. 0,05 %. Vzhledem k malému spotřebovanému množství nebude dále vliv těchto materiálů dále posuzován.

Tab. 19: Sumární inventarizační matice skleněných lahví - varianta A (přepravní vzdálenost 300 km)

funkční jednotka (15 000 lahví = 10 500 litrů): 6255 kg

vstupy	40 cyklů	jednotky	těžba a úprava surovin	výroba lahví	plnění lahví	doprava - na 40 cyklů	Celkem
energie a palivo celkem		MJ	40,69	2882	562	11070	14 554
balicí materiál - dřevěné palety		kg		0,43	22,45		22,88
výstupy							
emise do ovzduší	tuhé emise	g	2,01	168	242	662	1 074
	SO _x / SO ₂	g	12,39	772	1012	3704	5 500
	NO _x	g	11,48	1725	309	7541	9 587
	CO ₂	g	8127	21717	71374	747495	848 713
	CO	g	67	11,80		5424	5 503
	těkavé látky HCl, HF	g	3,2588			4,41	7,67
	sloučeniny Cl a F	g		26,91		0,44	27,35
	uhlovodíky	g				2399	2 399
	kovy	g		2,32		0,44	2,76
do vody	BSK	g		0,05	2475	0,93	2 476
	CHSK	g		0,27	598	1,1	599
	Na ⁺	g				0,88	0,88
	nerozpustné látky	g		0,11	98	2029	2 127
	rozpustné látky	g		10,37	5478	0,440	5 489
	kyselé látky jako H ⁺	g				2,56	2,56
	kovové ionty	g				0,88	0,88
	Cl ⁻	g				13	13,00
	uhlovodíky	g				8,82	8,82
SO ₄	g				2,21	2,21	
tuhé odpady	nebezpečný odpad	g	12,80	3,56			16,36
	ostatní odpad	g	16190		22930	26548	65 668

Varianta B

Postup sestavení sumární inventarizační matice pro variantu B je shodný s postupem použitým pro variantu A.

Tab.30 : Sumární inventarizační matice skleněných lahví - varianta B (přepravní vzdálenost 300 km)

funkční jednotka (15 000 lahví = 10 500 litrů): 6480 kg skloviny

vstupy	40 cyklů	jednotky	těžba a úprava surovin	výroba lahví	mytí, plnění lahví	doprava - na 40 cyklů	Celkem
energie a palivo celkem		MJ	54	2245	562	11070	13 930
balicí materiál - dřevěné palety		kg		0,43	22,45		23
výstupy							
emise do ovzduší	tuhé emise	g	1,400	81	242	662	986
	SO ₂	g	3,860	332	1012	3704	5 052
	NO _x	g	10,16	122	309	7541	7 982
	CO ₂	g	9476	23222	71374	747495	851 567
	CO	g	77,86	0,716		5424	5 503
	těkavé látky HCl, HF	g	3,80	1,11		4,41	9,32
	sloučeniny Cl	g				0,440	0,44
	uhlovodíky	g				2399	2 399
vody	kovy	g		0,35		0,440	0,79
	BSK - 5	g		23,11	2475	0,93	2 499
	CHSK	g		65,22	598	1,1	664
	Na ⁺	g				0,88	0,88
	nerozpustné látky	g		22,47	98	2029	2 149
	rozpustné látky	g		167	5478	0,440	5 645
	kyselé látky jako H ⁺	g				2,56	2,56
	kovové ionty	g				0,88	0,88
	Cl ⁻	g				13	13,00
	uhlovodíky	g				8,82	8,82
SO ₄	g				2,21	2,21	
tuhé odpady	nebezpečný odpad	g	20	18			38
	ostatní odpad	g	108		22930	26548	49 586

5. 3. Sumární inventarizační matice PET lahví

Sumární inventarizační matice PET lahví jsou vypracovány ve třech variantách odlišujících se v posledních fázích posuzovaného životního cyklu PET lahví:

- varianta - spalovna,
- varianta - skládka,
- varianta - recyklace.

Pro variantu recyklace jsou použity údaje o recyklaci použitých PET lahví na PES vlákna. Druhý způsob recyklace - výroba produktů ze směsových plastů - není pro hodnocení vhodný, neboť poměr PET lahví ve směsích není stálý a alokace toků spojená s recyklací by byla velice nepřesná. Obě recyklační firmy I a J začaly v roce 1998 také rozšiřovat dodávky vytříděných PET obalů k recyklaci na PES vlákna.

Vzhledem k tomu, že se jednotlivé sumární matice PET lahví liší pouze v poslední fázi životního cyklu, popis sestavení sumárních matic bude popsán společně pro všechny tři varianty. Sumární matice PET lahví jsou sestavené v pěti postupných krocích viz oddíl 5.1.

krok 4: přiřazení emisí do ovzduší vzniklých při výrobě potřebné elektrické energie - při procesech balení nových lahví, plnění a recyklaci na PES vlákna

Údaje převzaté z [2] (toky popisující výrobu PET granulátu, výrobu lahví a dopravu obalů) již tyto emise obsahují.

Tab. 31: Přiřazení emisí do ovzduší spotřebované energii - sumární matice PET lahví

		<i>balení nových lahví</i>	<i>plnění</i>	<i>recyklace na PES</i>
energie v MJ		4,068	579,60	1990,8
g na 1 MJ		4,068 * g/MJ	579,6 * g/MJ	1990,8 * g/MJ
SO ₂	1,8	7,32	1043	3583
NO _x	0,55	2,24	319	1095
tuhé emise	0,431	1,75	250	858
CO ₂	127	517	73609	252832

krok 5: určení významnosti jednotlivých toků podle hmotnosti

Pro základní suroviny není stanovena významnost na základě hmotnosti, neboť jsou vyjádřeny v energetických jednotkách jako feedstock energie.

Následující tabulka zobrazuje toky a jejich významnost pro variantu spalovna i skládka. Specifické údaje varianty skládka jsou uvedeny šikmým písmem (celkové množství energie, ostatní odpad). Udaná celková energie ve variantě skládka neobsahuje spotřebu energie potřebnou k ukládání odpadu na skládce.

Tabulka 32 zobrazuje toky a jejich významnost pro variantu recyklace.

Tab. 32: Významnost jednotlivých toků v sumární matici PET lahví - varianty spalovna a skládka

funkční jednotka (7 000 lahví 1,5 l = 10 500 litrů): tj. 280 kg PET

vstupy		jednotky	výroba granulátu	výroba předforem a lahví	plnění	doprava	spalovna skládka	Celkem	
základní	uhlí	MJ	4			85,00		89	
suroviny	ropa	MJ	9295			17,00		9312	skládka
(feedstock)	zemní plyn	MJ	3538			1,500		3540	energie
energie celkem		MJ	10698	6483		4590	-6440	15332	celkem
součet energie paliva a surovin		MJ	23535	6483	580	4694	-6440	28852	35292
pomocné suroviny	funkční jednotka v kg							280	podíl z funkční jednotky
	bauxit	kg	0,084			0,370		0,454	0,16%
	baryt	kg				0,560		0,560	0,20%
	chlorid sodný	kg	1,372			0,280		1,65	0,59%
	železná ruda	kg	0,252			6,62		6,87	2,45%
	vápenec	kg	0,112			2,340		2,45	0,88%
	voda	kg	4900	336		272		5508	1967,25%
balící materiál	palety	kg		207	319			526	187,86%
	proložky	kg		44				44	15,75%
	PE fólie a páska	kg		14,4	38,66			53	18,95%
výstupy	Celkem emise do ovzduší - CO2 - Nox							43156	podíl ze součtu
emise do ovzduší	tuhé emise	g	1064	1792	250	280		3386	7,85%
	CO	g	5040	274		2300		7614	17,64%
	CO ₂	g	644000	448000	73609	316965	641200	2123774	4921%
	SO _x , SO ₂	g	7000	4760	1043	1571		14374	33,31%
	NO _x	g	56840	1512	319	3198		61869	143,36%
	těkavé látky HCl, HF	g	31	78		1,870		111	0,26%
	organické látky	g	2632			0,187		2632	6,10%
	uhlovodíky	g	11200	364		1017		12581	29,15%
	kovy	g	2,8	0,56		0,187		3,55	0,01%
vody	Celkem emise do vody - rozpustné organické látky							2434	podíl ze součtu
	CHSK	g	924	0,84		0,468		925	38,01%
	BSK	g	280	0,56		0,394		281	11,54%
	Na ⁺	g	420			0,374		420	17,27%
	kyselé látky	g	50			1,122		52	2,12%
	kovové ionty	g	34			0,374		34	1,40%
	Cl ⁻	g	199			5,60		204	8,40%
	rozpustné organické látky	g	3640			860		4500	184,88%
	nerozpustné tuhé částice	g	179	42				221	9,09%
	detergenty	g	6					5,60	0,23%
	uhlovodíky	g	112			3,74		116	4,75%
	SO ₄	g	11			0,935		12	0,50%
	rozpustné tuhé částice	g	162			0,187		163	6,68%
	ostatní dusičnany	g	0,28					0,28	0,01%
	Celkem tuhé odpady							119039	podíl ze součtu
tuhé	nebezpečný odpad	g	28					28	0,02%
odpady	ostatní odpad	g	12740	33684	61330	11257	280000	119011	99,98%
	Celkem druhotné suroviny							58500	podíl ze součtu
druhotné	proložky	g			44100			44100	75,38%
suroviny	PE fólie	g			14400			14400	24,62%

zábor pŕdy 5,6 m³

Tab. 33: Významnost jednotlivých toků v sumární matici PET lahví - varianta recyklace

funkční jednotka (7 000 lahví 1,5 l = 10 500 litrů): tj. 280 kg PET

vstupy		jednotky	výroba granulátu	výroba předforem a lahví	plnění	doprava	recy- klace	Celkem	
základní suroviny (feedstock)	uhlí	MJ	4			85,00		89	
	ropa	MJ	9295			17,00		9312	
	zemní plyn	MJ	3538			1,500		3540	
energie celkem		MJ	10698	6483		4590	1991	23763	
součet energie paliva a surovin		MJ	23535	6483	580	4694	1991	37283	
pomocné suroviny	funkční jednotka v kg							280	podíl z funkční jednotky
	bauxit	kg	0,084			0,370		0,454	0,16%
	baryt	kg				0,560		0,560	0,20%
	chlorid sodný	kg	1,372			0,280		1,65	0,59%
	železná ruda	kg	0,252			6,62		6,87	2,45%
	vápenec	kg	0,112			2,340		2,45	0,88%
	voda	kg	4900	336		272	10172	15680	5600%
balicí materiál	kysličník titaničitý	kg					2,8	2,80	1,00%
	palety	kg		207	319			526	188%
	proložky	kg		44				44	15,75%
	PE fólie a páska	kg		14,4	38,66			53	18,95%
výstupy	Celkem emisí do ovzduší - CO2 - Nox								podíl ze součtu
emise do ovzduší	tuhé emise	g	1064	1792	250	280	858	4244	8,72%
	CO	g	5040	274		2300		7614	15,64%
	CO2	g	644000	448000	73609	316965	252832	1735406	3564%
	SOx	g	7000	4760	1043	1571	3583	17958	36,88%
	NOx	g	56840	1512	319	3198	1095	62964	129%
	těkavé látky HCl, HF	g	31	78		1,870		111	0,23%
	organické látky	g	2632			0,187		2632	5,41%
	uhlovodíky	g	11200	364		1017		12581	25,84%
	kovy	g	2,8	0,56		0,187		3,55	0,01%
vody	Celkem emisí do vody - rozpustné organické látky								podíl ze součtu
	CHSK	g	924	0,84		0,468		925	22,12%
	BSK	g	280	0,56		0,394		281	6,71%
	Na+	g	420			0,374		420	10,05%
	kyselé látky	g	50			1,122		52	1,23%
	kovové ionty	g	34			0,374		34	0,81%
	Cl-	g	199			5,60		204	4,89%
	rozpustné organické látky	g	3640			860	17500	22000	526%
	nerozpustné tuhé částice	g	179	42			1750	1971	47,11%
	detergenty	g	6					5,60	0,13%
	uhlovodíky	g	112			3,74		116	2,77%
	SO4	g	11			0,935		12	0,29%
	rozpustné tuhé částice	g	162			0,187		163	3,89%
	ostatní dusičnany	g	0,28					0,28	0,01%
	Celkem tuhé odpady								podíl ze součtu
tuhé odpady	nebezpečný odpad	g	28					28	0,02%
	ostatní odpad	g	12740	33684	61330	11257	40300	159311	99,98%
	Celkem druhotné suroviny								podíl ze součtu
druhotné suroviny	proložky	g			44100			44100	12,64%
	PE fólie, víčka, PET lahve	g			14400		290500	304900	87,36%

Popis dopadů působících na životní prostředí u jednotlivých kategorií toků s ohledem na 5 % hranici významnosti

Základní prvotní suroviny pro výrobu PET lahví se řadí do kategorie neobnovitelných surovin. Vzhledem k možnosti využít je jako paliva budou hodnoceny spolu se spotřebovanou energií ve formě energie feedstocku.

Potřeba vody i přes její velké množství nebude předmětem hodnocení, protože velká část tohoto množství cirkuluje v jednotlivých systémech a její znečištění bude hodnoceno pomocí emisí vnesených do vody. Znečištění vody při recyklaci není ve studii uvedeno, protože tyto hodnoty nebyly zjištěny. Odpad při praní použitých PET lahví je zahrnut do ostatních tuhých odpadů.

Ostatní pomocné suroviny (železná ruda, bauxit, baryt, chlorid sodný, feromangan, vápenec a olovo) se řadí do kategorie neobnovitelných surovin. Jejich zdroje jsou nedostatečné, ale jejich celkové množství spojené s funkční jednotkou PET lahví představuje pouze 4,94 kg, resp. 7,74 kg ve variantě recyklace. Rozdíl 2,8 kg tvoří kysličník titaničitý používaný při výrobě PES vlákn. Vliv těchto surovin nebude díky malému zastoupení a nemožnosti srovnání se skleněnými lahvemi dále posuzován.

Výroba energie a paliv a jejich spotřeba je vyjádřena pomocí emisí vnesených do ovzduší a vody a tuhých odpadů. Celkové množství energie potřebné při procesech spojených s životním cyklem PET lahví je ponecháno v závěrečných maticích, aby bylo možné porovnat celkovou spotřebu energie u obou hodnocených obalů. Celková energie se skládá ze spotřebované energie a paliv a energie základních surovin vyjádřené ve feedstocku.

Všechny balící materiály představují významné položky vzhledem k 5 % hranici významnosti na základě hmotnosti vztahené k funkční jednotce PET lahví. Celkové množství dřevěných palet - 526 kg zobrazuje potřebu palet pro přepravu lahví, ale ne jejich skutečnou spotřebu, protože tyto palety jsou používány až čtyřicetkrát [14]. Jejich spotřeba tak dosahuje 2,5 % z 526 kg, tj. 13,15 kg.

Spotřeba PE fólie dosahuje celkem 53 kg. Část, která připadá na obaly z nových lahví (14,4 kg), je spolu s papírovými proložkami (44 kg) předávána plnicími firmami k recyklaci. Nakládání s druhou částí (38,66 kg - obaly z naplněných lahví) závisí na spotřebitelích a obchodech. V další analýze předpokládám (podle části 3.6.) uložení této části fólií na skládce.

Emise do ovzduší a do vody mají významný negativní dopad na životní prostředí (budou předmětem následujícího hodnocení a porovnání).

Tuhé odpady rozdělené na nebezpečné a ostatní budou předmětem následujícího hodnocení a porovnání.

Uvedené druhotné suroviny (použité papírové proložky a PE fólie) nezpůsobují negativní dopad na životní prostředí, ale snižují množství odpadů. Vliv těchto produktů a surovin nebude dále posuzován.

Tab. 34: Sumární inventarizační matice PET lahví - varianta spalovna
(přepravní vzdálenost 300 km)

funkční jednotka (7 000 lahví 1,5 l = 10 500 litrů): tj. 280 kg PET

vstupy		jednotky	výroba granulátu	výroba předforem a lahví	plnění	doprava	spalovna	Celkem
energie feedstocku celkem		MJ	12837			104		12941
energie celkem		MJ	10698	6483	580	4590	6440	28791
součet energie paliva a surovin		MJ	23535	6483	580	4694	6440	41732
balící materiál	palety	kg		5,18	7,98			13
	papírové proložky	kg		44				44
	PE fólie a páska	kg		14,4	38,66			53
výstupy								
emise do ovzduší	tuhé emise	g	1064	1792	250	280		3386
	SOx, SO2	g	7000	4760	1043	1571		14374
	NOx	g	56840	1512	319	3198		61869
	CO2	g	644000	448000	73609	316965	641200	2123774
	CO	g	5040	274		2300		7614
	těkavé látky HCl, HF	g	31	78		1,870		111
	organické látky	g	2632			0,187		2632
	uhlovodíky	g	11200	364		1017		12581
	kovy	g	2,8	0,56		0,187		3,55
vody	BSK	g	280	0,56		0,394		281
	CHSK	g	924	0,84		0,468		925
	Na+	g	420			0,374		420
	nerozpustné tuhé částice	g	179	42				221
	rozpustné organické látky	g	3640			860		4500
	rozpustné tuhé částice	g	162			0,187		163
	kyselé látky	g	50			1,122		52
	kovové ionty	g	34			0,374		34
	Cl-	g	199			5,60		204
	uhlovodíky	g	112			3,74		116
	SO4	g	11			0,935		12
	detergenty	g	6					5,60
	ostatní dusičnany	g	0,28					0,28
tuhé odpady	nebezpečný odpad	g	28					28
	ostatní odpad	g	12740	33684	61330	11257		119011

Tab. 35: Sumární inventarizační matice PET lahví - varianta skládka
(přepravní vzdálenost 300 km)

funkční jednotka (7 000 lahví 1,5 l = 10 500 litrů): tj. 280 kg PET

vstupy		jednotky	výroba granulátu	výroba předforem a lahví	plnění	doprava	skládka	Celkem
energie feedstocku celkem		MJ	12837			104		12941
energie celkem		MJ	10698	6483	580	4590	NA	22351
součet energie paliva a surovin		MJ	23535	6483	580	4694		35292
balicí materiál	palety	kg		5,18	7,98			13
	papírové proložky	kg		44				44
	PE fólie a páska	kg		14,4	38,66			53
výstupy								
emise do ovzduší	tuhé emise	g	1064	1792	250	280		3386
	SOx, SO2	g	7000	4760	1043	1571		14374
	NOx	g	56840	1512	319	3198		61869
	CO2	g	644000	448000	73609	316965		1482574
	CO	g	5040	274		2300		7614
	těkavé látky HCl, HF	g	31	78		1,870		111
	organické látky	g	2632			0,187		2632
	uhlovodíky	g	11200	364		1017		12581
	kovy	g	2,8	0,56		0,187		3,55
vody	BSK	g	280	0,56		0,394		281
	CHSK	g	924	0,84		0,468		925
	Na+	g	420			0,374		420
	nerozpustné tuhé částice	g	179	42				221
	rozpustné organické látky	g	3640			860		4500
	rozpustné tuhé částice	g	162			0,187		163
	kyselé látky	g	50			1,122		52
	kovové ionty	g	34			0,374		34
	Cl-	g	199			5,60		204
	uhlovodíky	g	112			3,74		116
	SO4	g	11			0,935		12
	detergenty	g	6					5,60
	ostatní dusičnany	g	0,28					0,28
	tuhé odpady	nebezpečný odpad	g	28				
ostatní odpad		g	12740	33684	61330	11257	280000	399011

Tab. 36: Sumární inventarizační matice PET lahví - varianta recyklace (přepravní vzdálenost 300 km)

funkční jednotka (7 000 lahví 1,5 l = 10 500 litrů): tj. 280 kg PET

vstupy		jednotky	výroba granulátu	výroba předforem a lahví	plnění	doprava	recyklace	Celkem
energie feedstocku celkem		MJ	12837			104		12941
energie celkem		MJ	10698	6483	580	4590	1991	24342
součet energie paliva a surovin		MJ	23535	6483	580	4694	1991	37283
balicí materiál	palety	kg		5,18	7,98			13
	papírové proložky	kg		44				44
	PE fólie a páska	kg		14,4	38,66			53
výstupy								
emise do ovzduší	tuhé emise	g	1064	1792	250	280	858	4244
	SO _x , SO ₂	g	7000	4760	1043	1571	3583	17958
	NO _x	g	56840	1512	319	3198	1095	62964
	CO ₂	g	644000	448000	73609	316965	252832	1735406
	CO	g	5040	274		2300		7614
	těkavé látky HCl, HF	g	31	78		1,870		111
	organické látky	g	2632			0,187		2632
	uhlovodíky	g	11200	364		1017		12581
	kovy	g	2,8	0,56		0,187		3,55
vody	BSK	g	280	0,56		0,394		281
	CHSK	g	924	0,84		0,468		925
	Na ⁺	g	420			0,374		420
	nerozpustné tuhé částice	g	179	42				221
	rozpustné organické látky	g	3640			860	17500	22000
	rozpustné tuhé částice	g	162			0,187	1750	1913
	kyselé látky	g	50			1,122		52
	kovové ionty	g	34			0,374		34
	Cl ⁻	g	199			5,60		204
	uhlovodíky	g	112			3,74		116
	SO ₄	g	11			0,935		12
	detergenty	g	6					5,60
	ostatní dusičnany	g	0,28					0,28
tuhé odpady	nebezpečný odpad	g	28					28
	ostatní odpad	g	12740	33684	61330	11257	40300	159311

6. Hodnocení životních cyklů

6. 1. Výběr a definice kategorií vlivů

Oba posuzované systémy působí na životní prostředí ve formě odběru a vnášení látek a energií do životního prostředí.

Odběr látek a energií z životního prostředí

Během životního cyklu skleněných a PET lahví jsou odebírány z životního prostředí primární neobnovitelné zdroje, primární obnovitelné zdroje (voda a dřevo), druhotné suroviny (střepy, loppa, síran sodný, PET lahve pro recyklaci) a energie získávaná přeměnou primárních neobnovitelných zdrojů.

Z uvedených látek a energií odebíraných z životního prostředí budou při klasifikaci použity: spotřeba energie pro posouzení energetické náročnosti životních cyklů obou posuzovaných obalů a spotřeba primárního obnovitelného zdroje pro posouzení spotřeby dřevěných palet v obou posuzovaných životních cyklech.

Vnášení látek a energií do životního prostředí

Kategorie vnášení látek a energií do životního prostředí zahrnuje emise do ovzduší, vody a půdy (tuhé odpady) a energetické emise.

Během životních cyklů skleněných a PET lahví jsou vnášeny do životního prostředí: emise do ovzduší přispívající ke klimatickým změnám, emise do ovzduší přispívající k acidifikaci, emise do ovzduší vyjádřené celkovou škodlivostí vůči živým organismům, emise do vody vyjádřené celkovou škodlivostí jednotlivých látek a tuhé odpady rozdělené podle závažnosti (nebezpečné a ostatní).

6. 2. Klasifikace

V této části jsou údaje ze sumárních inventarizačních matic obou životních cyklů nápojových obalů přiřazeny do pěti základních kategorií dopadů určených v předcházející části a kvalitativně posouzeny podle svého působení na životní prostředí.

Energetická náročnost - spotřeba primárních energetických surovin

Tab. 37: Spotřeba energie v životních cyklech skleněných a PET lahví funkční jednotka 10.500 litrů nápoje, přepravní vzdálenost 300 km

jednotky MJ	sklo – 40 cyklů		PET	PET	PET	energie feedstock u PET
	varianta A	varianta B	- varianta spalovna	– varianta skládka	– varianta recyklace	
úprava surovin / výroba PET granulátu	36	54	10698	10698	10698	12837
výroba lahví	2881	2245	6483	6483	6483	
Plnění lahví	562	562	580	580	580	
Doprava	11070	11070	4694	4694	4694	
zpracování střepů/ recyklace, využití, zneškodnění	5,4	NA	-6440	NA	1991	
Celkem	14554	13930	16015	22455	24446	12837
Celkem energie + feedstock			28852	35292	37283	
Celkem bez dopravy	3484	2860	11321	17761	19752	

Energie feedstocku (základní suroviny pro výrobu PET granulátu v MJ) je uvedena zvlášť. Spotřeba energie přímo nezpůsobuje negativní dopady na životní prostředí, avšak při její výrobě se spotřebovává velké množství primárních energetických surovin (uhlí, ropa a zemní plyn) a vznikají škodlivé emise a odpady ve velkém množství. Emise a odpady budou klasifikovány jednotlivě v následujících kategoriích.

Energie používaná v životním cyklu PET lahví bez zahrnutí dopravy je vyráběna z následujících zdrojů [2]: uhlí 28,5 %, ropa 30,1 %, zemní plyn 28,4 %, jaderná 11,5 %, ostatní 1,5 %.

Energie používaná v životním cyklu skleněných lahví bez zahrnutí dopravy je vyráběna z následujících zdrojů [30]: uhlí 17,1 - 21,5 %, ropa 0,7 - 0,8 %, zemní plyn 79,3 - 74 % (hlavní zdroj energie ve sklárnách), jaderná 2,4 - 3,1 %, ostatní 0,4 - 0,6 %.

Energie používaná při výrobě motorové nafty včetně energie jejích základních surovin je vyráběna z následujících zdrojů [2]: uhlí 28,5 %, ropa 30,1 %, zemní plyn 28,4 %, jaderná 11,5 %, ostatní 1,5 %.

Následující tabulka ukazuje množství uhlí, ropy a zemního plynu potřebná pro zajištění všech procesů životního cyklu skleněných a PET lahví v jednotlivých variantách.

Tab. 38: Spotřeba primárních energetických surovin v jednotlivých variantách

funkční jednotka 10.500 litrů nápoje, přepravní vzdálenost 300 km

suroviny	kg/MJ	sklo – 40 cyklů		PET – spalovna kg	PET – skládka kg	PET - recyklace kg
		varianta A kg	varianta B kg			
Uhlí	0,039	39	40	133	204	222
Ropa	0,025	256	256	200	248	259
zemní plyn	0,023	74	59	79	121	128
Celkem		369	354	411	573	609

Spotřeba primárního obnovitelného zdroje - dřeva

Tab. 39: Spotřeba dřeva v životních cyklech skleněných a PET lahví

jednotky kg	skleněné lahve	PET lahve
výroba lahví	0,44	5,18
plnění lahví	22,45	7,98
Celkem	23	13

Emise do ovzduší

Tab. 40: Přehled celkových emisí do ovzduší v životních cyklech skleněných a PET lahví

funkční jednotka 10.500 litrů nápoje, přepravní vzdálenost 300 km

		sklo – 40 cyklů		PET – spalovna	PET – skládka	PET - recyklace
		varianta A	varianta B			
Tuhé emise	g	1 074	986	3 386	3 386	4 244
SO _x / SO ₂	g	5 500	5 052	14 374	14 374	17 958
NO _x	g	9 587	7 982	61 869	61 869	62 964
CO ₂	g	848 713	851 567	2 123 774	2 123 774	1 735 406
CO	g	5 503	5 503	7 614	7 614	7 614
HCl	g	7,67	9,32	111	111	111
HF	g	-	-	2,80	2,80	2,80
Slouč. Cl a F	g	27	0,44	-	-	-
uhlovodíky	g	2 399	2 399	12 581	12 581	12 581
Kovy	g	3	1	3,55	3,55	3,55
organické látky	g	-	-	2 632	2 632	2 632
Celkem	g	872 813	873 499	2 226 348	1 585 148	1 843 516

Emise do vody

Tab. 41: Přehled celkových emisí do vody v jednotlivých variantách životních cyklů skleněných a PET lahví

funkční jednotka 10.500 litrů nápoje, přepravní vzdálenost 300 km

		sklo – 40 cyklů		PET - spalovna a skládka	PET - recyklace
		varianta A	varianta B		
BSK	g	2 476	2 499	281	281
CHSK	g	599	664	925	925
Na ⁺	g	0,88	0,88	420	420
nerozpustné látky	g	2 127	2 149	221	1 971
rozpustné látky	g	5 489	5 645	4 500	22 000
kyselé látky jako H ⁺	g	2,56	2,56	163	1913
kovové ionty	g	0,88	0,88	52	52
Cl ⁻	g	13	13	34	34
uhlovodíky	g	8,82	8,82	204	204
SO ₄	g	2,21	2,21	116	116
detergenty	g			5,60	5,60
ostatní dusičnany	g			0,28	0,28
Celkem	g	10 720	10 987	6 921	27 921

Tuhé odpady

Tab. 42: Přehled tuhých odpadů

funkční jednotka 10.500 litrů nápoje, přepravní vzdálenost 300 km

odpad v kg	sklo – 40 cyklů		PET – spalovna	PET – skládka	PET - recyklace
	varianta A	varianta B			
nebezpečný	0,016	0,038	0,028	0,028	0,028
ostatní	65,67	49,59	119	399	159
Celkem kg	66	50	119	399	159

Množství ostatních odpadů je ve všech variantách životního cyklu PET lahví vyšší oproti životnímu cyklu skleněných lahví. Vysoká hodnota ostatních odpadů ve variantě skládka je způsobena uložením celé funkční jednotky PET lahví (280 kg) na skládku.

6. 3. Charakterizace

Zjištěné údaje, které byly v předchozí části zařazeny do jednotlivých kategorií, budou nyní podle potřeby převedeny na společný standard (standardizace) tak, aby bylo možné posoudit negativní dopad celé kategorie zjištěných vlivů. V další části bude u všech kategorií zhodnocena škodlivost zjištěných vlivů vzhledem k území, na kterém negativní dopad působí na životní prostředí (normalizace).

6. 3. 1. Standardizace

Převedení na společný základ - standard je provedeno v kategoriích emise do ovzduší a do vody. Emise do ovzduší jsou vyjádřeny pomocí příspěvku ke klimatickým změnám, k acidifikaci a celkovou škodlivostí vůči živým organismům.

Příspěvek ke klimatickým změnám

Jednotlivé hodnoty CO₂ ukazují příspěvek ke globálnímu oteplení v období 100 let.

Tab. 43: Přehled emisí CO₂

funkční jednotka 10.500 litrů nápoje, přepravní vzdálenost 300 km

	sklo – 40 cyklů		PET – spalovna	PET – skládka	PET - recyklace
	varianta A	varianta B			
emise CO ₂ v kg	849	852	2 124	1 483	1 735
poměr k nejnižší hodnotě	1	1,00	2,50	1,75	2,04

Příspěvek k acidifikaci

V životních cyklech obou hodnocených obalů jsou ze skupiny látek přispívajících k acidifikaci zastoupeny SO₂, NO_x, HCl a HF. Výpočet příspěvku k acidifikaci je proveden pomocí ekvivalentu SO₂. Tabulka ukazuje velikost jednotlivých faktorů pro hodnocené látky a hodnoty ekvivalentů SO₂ z jednotlivých látek.

Tab. 44: Přehled ekvivalentů SO₂

funkční jednotka 10.500 litrů nápoje, přepravní vzdálenost 300 km

	faktor SO ₂ / kg	sklo – 40 cyklů		PET - spalovna a skládka	PET - recyklace
		varianta A	varianta B		
SO ₂	1,00	5,50	5,05	14,37	17,96
NO _x	0,70	6,71	5,59	43,31	44,07
Hcl	0,88	0,007	0,008	0,098	0,098
HF	1,60	-	0,001	0,004	0,004
Celkem v kg		12,22	10,65	57,78	62,13

Součty ekvivalentů SO₂ v jednotlivých variantách životních cyklů obou obalů ukazují, že životní cyklus PET lahví způsobuje ve všech variantách mnohonásobně vyšší příspěvek k acidifikaci v porovnání s životním cyklem skleněných lahví.

Celková škodlivost vůči živým organismům

Celková škodlivost emisí do ovzduší vypouštěných z jednotlivých variant životních cyklů posuzovaných obalů je vypočtena pomocí koeficientů škodlivosti [22]. Při stanovení koeficientů byla zvažována relativní nebezpečnost dané látky v ovzduší vdechované člověkem, pravděpodobnost kumulace znečišťující látky v potravinových řetězcích a vliv škodliviny na ostatní živé organismy.

Relativní škodlivost jednotlivých emisí je získána vynásobením jednotlivých množství emisí příslušnými koeficienty škodlivosti. Varianty životního cyklu PET lahví s uložením na skládku a se spalováním jsou uvedeny společně, protože množství hodnocených emisí je v obou variantách shodné.

Tab. 45: Škodlivost emisí do ovzduší

funkční jednotka 10.500 litrů nápoje, přepravní vzdálenost 300 km

koeficient škodlivosti g/g		sklo – 40 cyklů		PET - spalovna a skládka	PET - recyklace
		varianta A	varianta B		
Tuhé emise	70	75 181	69 048	237 007	237 007
SO _x / SO ₂	22	121 007	111 139	316 234	316 234
NO _x	41	393 048	327 260	2 536 620	2 536 620
CO	1	5 503	5 503	7 614	7 614
HF	980	-	1 392	2 842	2 842
Cl	25	525	11	-	-
F	100	621	-	-	-
Kovy	15,1	42	12	54	52
Celkem g		595 926	514 364	3 100 371	3 100 369
Celkem kg		596	514	3 100	3 100

Součty relativní škodlivosti emisí v jednotlivých variantách životních cyklů obou obalů ukazují, že životní cyklus PET lahví způsobuje ve všech variantách více než desetinásobně vyšší znečištění ovzduší vůči živým organismům v porovnání se skleněnými lahvemi.

Celková škodlivost emisí do vody

Celková škodlivost zjištěných emisí do vody je stanovena pomocí ukazatele relativní škodlivosti emisí do vody [22]. Při stanovení tohoto ukazatele se vycházelo z nejvyšší povolené přípustné koncentrace (NPK) dané látky ve vodních tocích využívaných pro vodárenské účely.

Relativní škodlivost jednotlivých emisí je získána vynásobením množství jednotlivých emisí příslušnými ukazateli škodlivosti. Tabulka 46 ukazuje velikost jednotlivých ukazatelů škodlivosti pro hodnocené látky a celkové hodnoty emisí jednotlivých látek v posuzovaných životních cyklech.

Tab. 46: Škodlivost emisí do vody

funkční jednotka 10.500 litrů nápoje, přepravní vzdálenost 300 km

koeficient škodlivosti g/g		sklo – 40 cyklů		PET	PET - recyklace
		varianta A	varianta B		
BSK	0,25	618,99	624,76	70,17	70,17
CHSK	0,1	59,937	66,432	92,50	92,50
nerozpustné látky	0,05	106,36	107,47	11,06	98,56
rozpustné látky	0,002	10,978	11,291	9,00	44,00
Cl ⁻	0,005	0,065	0,065	0,170	0,170
SO ₄	0,005	0,011	0,011	0,579	0,579
Celkem g		796	810	183	306

Součty relativní škodlivosti emisí v jednotlivých variantách životních cyklů obou obalů ukazují, že životní cyklus skleněných lahví způsobuje vyšší znečištění vody v porovnání se všemi variantami životních cyklů PET lahví. Varianta recyklace však neobsahuje úplné údaje především BSK a CHSK, které mají nejvyšší hodnoty ukazatele škodlivosti.

Vyšší znečištění vody v životním cyklu skleněných lahví je způsobené mytím použitých skleněných lahví před novým použitím. Vzhledem k tomu, že údaje o znečištění vody při praní PET lahví jsou nedostatečné, není možné tyto fáze praní a mytí dostatečně objektivně porovnat.

6. 4. Celkové zhodnocení a porovnání

Základem celkového zhodnocení a porovnání jsou zjištěné charakterizované vlivy z předchozí kapitoly doplněné o dvě varianty zobrazují negativní dopady na životní prostředí, které by byly výsledkem inventarizační analýzy životního cyklu skleněných lahví při dvacetinásobném nebo jednorázovém použití.

Varianta jednoho použití skleněných lahví (SKLO 1c) vychází z původního výpočtu materiálových a energetických toků na jednu funkční jednotku skleněných lahví. Správné zobrazení toků spojených s dopravou (přepravní vzdálenost 300 km jedna cesta) vyžaduje přepočtení dopravních koeficientů a z nich odvozených vlivů dopravy na životní prostředí. Také proces plnění resp. mytí použitých lahví vyžaduje úpravu, která spočívá v odečtení toků spojených s mytím lahví (čisticí prostředky, spotřeba a znečištění vody a spotřeba energie) a započtení energie potřebné pro výplach nových lahví podobně jako u nových PET lahví. V konečné fázi životního cyklu předpokládám uložení všech použitých lahví na skládku.

Varianta dvacetinásobného použití skleněných lahví (SKLO 20c) vychází ze sumární inventarizační matice varianty A při čtyřicetinásobném využití. Sestavení sumární inventarizační matice zobrazující toky spojené s dvaceti násobným použitím skleněných lahví vyžaduje provedení těchto přepočtů:

- toky spojené se zpracováním sklářských surovin a výrobou skleněných lahví jsou vynásobeny dvakrát, protože v tomto životním cyklu se předpokládá dvakrát tak velké množství nových lahví oproti variantě se čtyřiceti cykly;
- toky spojené s přepravou skleněných lahví jsou upraveny na základě přepočtených koeficientů, které vyjadřují změnu skutečné hmotnosti dopravovaných nákladů nových a použitých lahví
- toky spojené s mytím použitých lahví jsou přiřazeny 97 % funkční jednotky (5 % nové + 97 % použité - 2 % střepy z mytí a plnění lahví = 100 %).

Varianta čtyřicetinásobného použití skleněných lahví (SKLO 40 c) představuje prostý průměr z variant A a B při čtyřiceti násobném využití skleněných lahví, protože množství jejich jednotlivých zjištěných dopadů nejsou příliš rozdílná.

Tabulka 47 ukazuje zjištěné negativní dopady u jednotlivých variant životních cyklů skleněných a PET lahví.

Tab. 47: Přehled negativních vlivů životních cyklů skleněných a PET lahví na ŽP (přepravní vzdálenost 300 km)

funkční jednotka 10.500 litrů nápoje, přepravní vzdálenost 300 km

jednotky – kg	SKLO 40 c	SKLO 20 c	SKLO 1 c	PET - spalovna	PET - skládka	PET - recyklace
spotřeba energetických surovin	362	441	1699	411	573	609
spotřeba dřeva	23	23	31	13	13	13
příspěvek ke globálnímu oteplování	853	879	1222	2124	1483	1735
příspěvek k acidifikaci	11	14	45	58	58	62
škodlivost emisí do ovzduší na organismy	555	739	2375	3100	3100	3100
celková škodlivost emisí do vody	0,80	0,79	0,06	0,18	0,18	0,28
produkce tuhého odpadu	58	72	6660	119	399	159
Celkový negativní dopad (CND)	1 862	2 169	12 033	5825	5 626	5 679
Poměr CND k variantě SKLO 40c	-	1,16	6,46	3,13	3,02	3 05

Celkový negativní dopad na životní prostředí zobrazený v tabulce 47 představuje prostý součet jednotlivých zjištěných dopadů v hmotnostních jednotkách bez ohledu na důležitost jednotlivých vlivů. Zjištěným negativním dopadům nejsou přiděleny preference s ohledem na závažnost jednotlivých kategorií vlivů. Při modelovém přidělování preferencí nebylo dosaženo významných změn v pořadí hodnocených variant, které je uvedeno poměrem celkového negativního dopadu v posledním řádku tabulky 47.

Pro posouzení zjištěných vlivů nejen z hlediska kvantity ale i důležitosti je možné přiřadit jednotlivým kritériím (dopadům) určité preference. Stanovení preferencí je však velice subjektivní a závisí na postoji hodnotitele a zájmech zainteresovaných stran.

Posouzení a porovnání negativních dopadů analyzovaných životních cyklů z hlediska celkového negativního dopadu na životní prostředí

Přehled negativních dopadů (tab. 47) ukazuje, že nejnižší celkový negativní dopad na životní prostředí způsobuje varianta SKLO 40 cyklů, a to nejen mezi variantami skleněných lahví, ale i v porovnání s PET lahvemi.

Největší negativní dopad by byl způsoben při používání skleněných lahví bez opětovného užití tj. varianta SKLO 1 cyklus. Pokud by skleněné lahve nebyly vícenásobně používány, došlo by v celém životním cyklu k nárůstu spotřeby energetických surovin (energetické náročnosti), s tím spojených negativních vlivů na životní prostředí způsobených většími emisemi do ovzduší, spotřeby dřevěných palet, a především tuhého odpadu. Obrovský nárůst tuhého odpadu by byl způsoben uložením celé funkční jednotky tj. 6.300 kg na skládku. Jediná kategorie, kde by byl negativní dopad při jednorázovém použití snížen je znečištění vody, neboť skleněné lahve by nemusely být vymývány.

Srovnáme-li varianty čtyřiceti a dvaceti násobného použití skleněných lahví, vidíme, že s vyšším počtem opětovných použití většina negativních dopadů na životní prostředí klesá. Zvýšení počtu využití skleněných lahví nepůsobí významně na spotřebu dřevěných palet a znečištění vody.

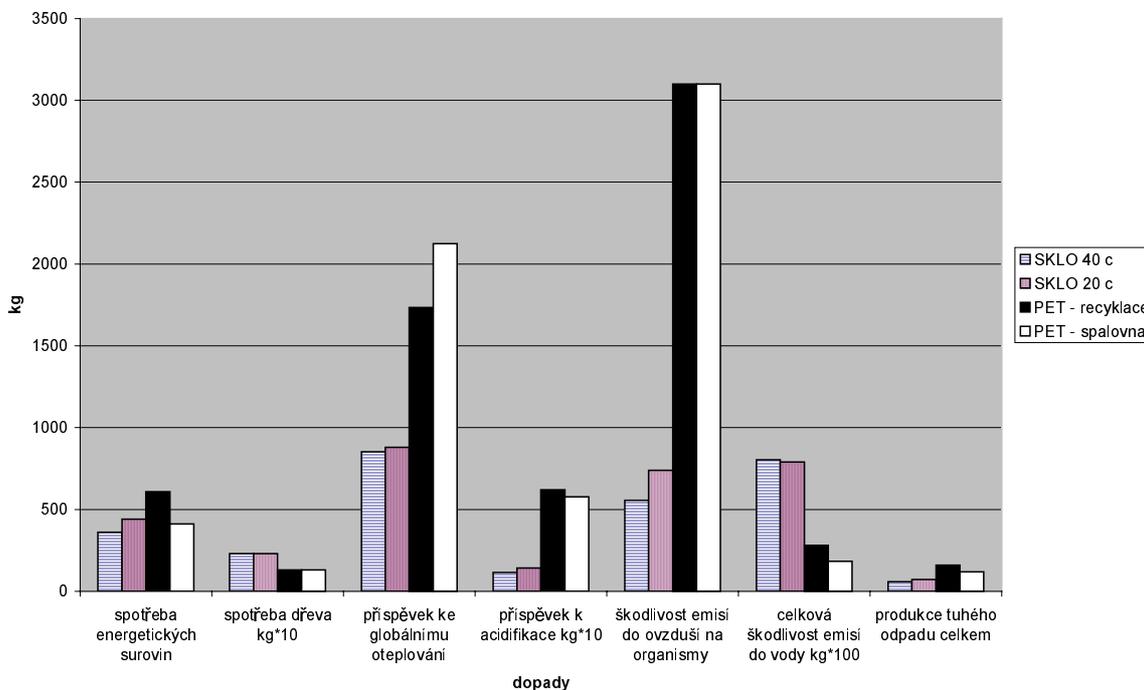
Mezi jednotlivými variantami životního cyklu PET lahví má nejnižší celkový negativní dopad na životní prostředí varianta skládka a to především z důvodu emisí CO₂ při spalování PET lahví, který způsobuje velký nárůst příspěvku ke skleníkovému efektu ve variantě spalování. Velikost jednotlivých dopadů je tedy, až na příspěvek ke skleníkovému efektu, nejnižší ve variantě spalování.

Varianta recyklace přináší podle provedené analýzy největší celkový negativní dopad mezi hodnocenými variantami životních cyklů PET lahví. Přesto, příspěvek ke skleníkovému efektu je v této variantě nižší než při spalování, produkce tuhého odpadu je menší v porovnání s ukládáním na skládku a spotřeba dřevěných palet je shodná s ostatními variantami. Největší nárůst oproti ostatním PET variantám je ve znečištění vody způsobené praním rozemleté PET drtě. Spotřeba energie spojená s recyklací způsobuje větší spotřebu energetických surovin a nárůst negativních dopadů spojených s vyšším množstvím emisí vypouštěných do ovzduší při výrobě elektrické energie.

Ve variantě recyklace jsou v poslední fázi životního cyklu PET lahví zahrnuty do analýzy procesy drcení a praní PET lahví a proces výroby PES vláken z PET drtě. Životní cyklus PET lahví je zde propojen s životním cyklem PES vláken. Toky spojené s výrobou PES vláken by mohly být vyčleněny z LCA PET lahví, ale PET drť nemá přímé využití jako konečný produkt. Jsou-li do analýzy zahrnuty toky spojené se zpracováním a přeměnou střepek ze skleněných lahví, je pro možnost srovnání vhodné ponechat v analýze i výrobu PES vláken.

Většina (78 %) spotřebované energie ve fázi recyklace je spojena s výrobou PES vláken a pouze 22 % je spotřebováno při drcení a mytí.

Graf 1: Negativní dopady životních cyklů skleněných a PET lahví s recyklací nebo energetickým využitím (převážná vzdálenost 300 km)



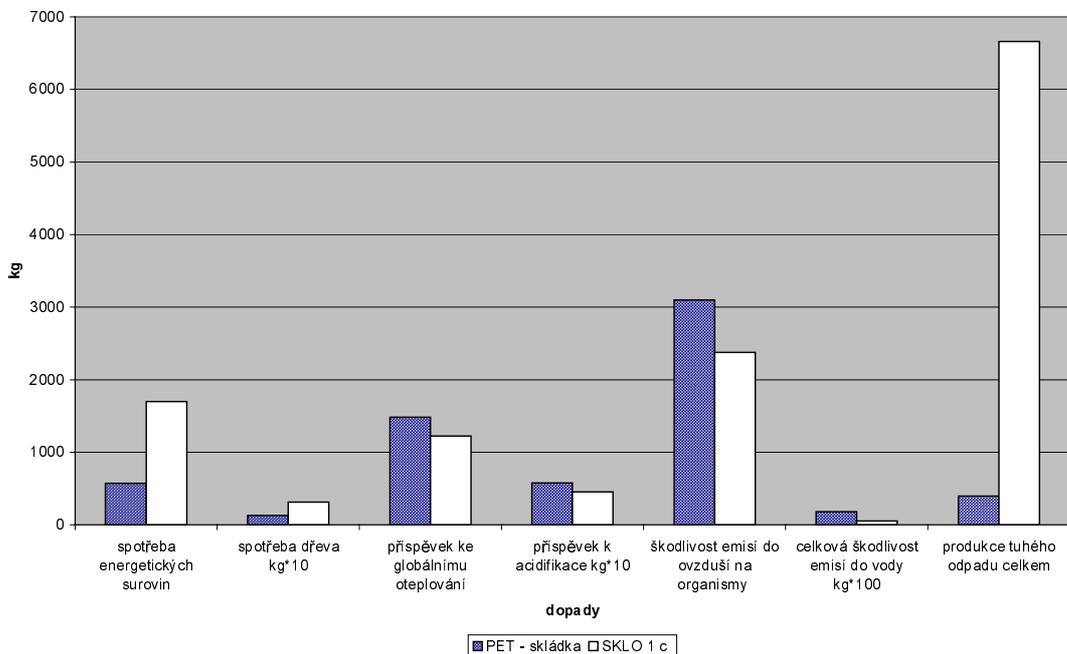
Životní cykly PET lahví zobrazené v grafu 1 vyžadují více energetických surovin (mají větší spotřebu energie), což způsobuje vyšší příspěvky ke skleníkovému efektu a k acidifikaci a škodlivost emisí do ovzduší na živé organismy. Tyto životní cykly produkují ve srovnání s variantami skleněných lahví také více tuhých odpadů. Menší negativní dopady způsobují PET lahve v oblasti znečištění vody a spotřeby dřevěných palet.

Graf 2 porovnává negativní dopady životního cyklu PET lahví bez recyklace či energetického využití s teoretickým životním cyklem skleněných lahví bez recyklace.

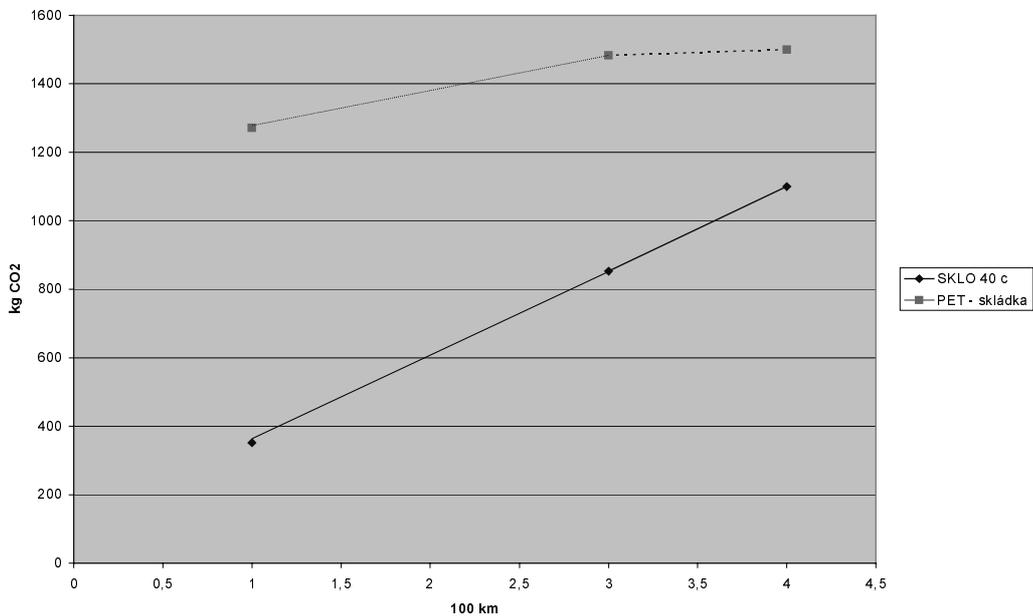
Životní cyklus skleněných lahví s jedním použitím přináší větší celkové negativní dopady, ale některé dílčí hodnocené dopady jsou v porovnání s PET lahvemi nižší. Vyšší celkový negativní dopad je způsoben především vyšší hmotností skla uloženého jako odpad na skládku v porovnání s hmotností PET lahví. Pokud by byl odpad uložený na skládku hodnocený podle množství (objemu) zabrané půdy, rozdíl by nebyl pravděpodobně tak veliký.

Spotřeba energetických surovin je u skla vyšší, avšak vlivy způsobené emisemi do ovzduší jsou naopak nižší. Tento rozdíl je způsoben vyšším zastoupením zemního plynu mezi energetickými surovinami spotřebovanými v životním cyklu skleněných lahví (hlavní zdroj energie ve sklárně). Spalování zemního plynu produkuje v porovnání s uhlím a ropou nižší emise do ovzduší.

Graf 2: Negativní dopady životních cyklů skleněných a PET lahví s ukládáním použitých lahví na skládku (přepravní vzdálenost 300 km)



Graf 3: Modelování výsledků s ohledem na různou dovozovou vzdálenost



Modelování výsledků s ohledem na různou dovozovou vzdálenost

Výše uvedený graf znázorňuje vývoj emisí CO₂ v životních cyklech skleněných lahví se 40ti násobným použitím a jednocestných PET lahví při dovozové vzdálenosti od 100 do 400 km. V rozmezí těchto dovozových vzdáleností jsou emise CO₂ pro životní cyklus skleněných lahví významně nižší.

Závěr

Porovnání jednotlivých variant životních cyklů skleněných a PET lahví ukázalo, že životní cyklus skleněných lahví se čtyřicetinásobným použitím způsobuje nejnižší negativní dopad na životní prostředí ze všech posuzovaných variant obou hodnocených obalů. Nejlepší varianta životního cyklu PET lahví (skládování) způsobuje podle provedené LCA třikrát větší negativní dopad na životní prostředí oproti variantě skleněných lahví se čtyřiceti násobným použitím. Tohoto výsledku bylo dosaženo díky následujícím charakteristikám skleněných lahví:

- relativně nízká energetická náročnost a menší negativní vlivy na životní prostředí ze zpracování surovin a výroby lahví díky jejich mnohonásobnému využití,
- zavedený funkční systém výkupu lahví,
- tradiční sběr tříděných střeptů,
- využití druhotných surovin při výrobě lahví.

Provedené hodnocení životního cyklu skleněných a PET lahví dokládá, že sklo je šetrnější k životnímu prostředí, avšak skutečný vývoj trhu minerálních vod ukazuje odklon od používání tradičních skleněných lahví směrem k PET lahvím.

PET lahve na jedno použití mají oproti skleněným lahvím určité ekonomické a spotřebitelské výhody. Nižší pořizovací cena nových lahví a pružnější dodávky patří k nejvýznamnějším ekonomickým výhodám pro výrobce minerálních vod. Spotřebitelé PET lahví oceňují nízkou hmotnost, opětovnou uzavíratelnost a menší křehkost.

Uvedené výhody PET lahví vznikly postupným vývojem výrobních technologií a spotřebitelských preferencí. Designéři a výrobci PET lahví našli způsob odstranění nevýhod spojených s používáním skleněných lahví. Mají-li skleněné lahve obstát v konkurenci s PET lahvemi, je potřebné, aby se sklářští designéři a výrobci zaměřili na snížení uživatelských nevýhod skleněných lahví a seznámili uživatele a spotřebitele s výhodami skleněných lahví.

Vzrůstající uvědomění si potřeby péče o životní prostředí ve vyspělých průmyslových zemích ukazuje, že spotřebitelé jsou ochotni používat výrobky a obaly, které nejsou třeba uživatelsky nejvýhodnější a nejestetičtější, avšak jsou šetrnější k životnímu prostředí.

Stále větší používání PET lahví v ČR způsobuje nárůst objemu KO a volně odhozených obalů. Toto je však jen nejviditelnější negativní působení PET lahví na životní prostředí. Další negativní dopady vznikají zvýšeným znečištěním ovzduší a spotřebou neobnovitelných energetických zdrojů.

Jak se bude trh obalů na minerální vody a trh minerálních vod vyvíjet dále závisí nejen na konečných spotřebitelích ale také na výrobcích minerálních vod a nápojových obalů. Na konečného spotřebitele lze působit například vzděláváním a informováním o působení životních cyklů jednotlivých obalů a o vlivech rozdílných způsobů nakládání s použitými obaly na životní prostředí. Kromě konečného spotřebitele mohou být informační a vzdělávací aktivity zaměřené také na další subjekty: uživatele obalů (výrobci minerálních vod), místní správu, odběratele minerálních vod (obchody, restaurace a jiné stravovací podniky) a další obchodní partnery.

Výsledky tohoto hodnocení životních cyklů mohou sloužit jako zdroj informací pro vzdělávací činnosti a informační materiály o působení obalů na životní prostředí, pro analýzy systémů nakládání s použitými obaly při přípravě a zavádění těchto systémů a také jako výchozí materiál pro další analýzy dopadů na životní prostředí. Dílčí výsledky - přehledy zjištěných negativních vlivů - z inventarizační analýzy lze využít v jednotlivých podnicích při odstraňování nebo zmírňování nalezených negativních dopadů na životní prostředí a zavádění BAT (nejlepších dostupných technologií).

Seznam literatury

1. ČSN EN ISO 14040 Enviromentální management - Posuzování životního cyklu - Zásady a osnova, Český normalizační institut, 1998
 2. Eco-profiles of the European plastic industry Report 10: Polymer Conversion, AMPE, Brusel 1997
 3. Eco-profiles of the European plastic industry Report 8: PET, AMPE, Brusel 1995
 4. EN ISO 14041 Enviromentální management - Posuzování životního cyklu - Stanovení cíle a rozsahu, a inventarizační analýzy, CEN Brusel 1998
 5. Gargiulo, C.: Polyester fiber from 100 % recycled PET bottles for apparel, Chemical Fibres International, 2/1997, str. 28-30
 6. Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice', Society of Environmental Toxicology and Chemistry - Europe, Brusel 1993
 7. Hradecká, H.: Konečně jsou PET lahve zpracovávány i u nás!, EkoPlaneta journal, 11/1998, str. 38-40
 8. Interní materiály firmy C
 9. Interní materiály firmy A
 10. Interní materiály firmy F
 11. Interní materiály firmy G
 12. Interní materiály firmy H
 13. Interní materiály firmy M
 14. Interní materiály firmy P
 15. Interní materiály firmy N
 16. Interní materiály firmy R
 17. Interní materiály firmy S
 18. Interní materiály firmy B
 19. Kvíz, M.: Recyklace PET lahví, MM průmyslové spektrum, 10/1998, str. 46-48
 20. Life-cycle assessment for drinks packaging systems, Umwelt Bundes Amt, 1996
 21. Lorencová, J.: Charakteristika současné situace na trhu PET lahví, Diplomová práce, VŠE Praha, 1995
 22. Ocenění škod způsobených znečištěním ovzduší a vody, interní materiály katedry ŽP, VŠE
 23. Pedersen, B.: Environmental Assessment of Products, UETP-EEE, Helsinky, 1993
 24. Procházka, O.: Odpady mohou zkrášlovat, Moderní obec, 4/1998, str. 31
 25. Publikace a technologické návody firmy Eastman
 26. Publikace firmy Amut: Plastic re-processing plant for beverage bottles
 27. Publikace firmy koncernu B
 28. Přepočtové tabulky paliv, materiál firmy ČEZ
 29. Recovery and Recycling of PET containers in Europe, PETCORE Brusel 1998
 30. Remtová, K: Cesty k čistší produkci a spotřebě, VŠE, 1994
 31. Remtová, K: Hodnocení životního cyklu, Ekologie a společnost, 5/1997, str. 18 - 22
 32. Remtová, K: Trvale udržitelný rozvoj a strategie ochrany ŽP, MŽP ČR, v rámci programu Phare, 1996
 33. Sborník přednášek a katalog firem Odpady - Luhačovice 98
 34. Selected topics in environmental management, Unesco, Francie 1996
 35. Studie a materiály firmy T
 36. Zákon č.125/1997 Sb., o odpadech
- Internetová stránka: www.eastman.com

Monika Přibyllová:
Skleněné a nebo PET lahve na minerální vody:
posuzování životního cyklu.

Vydalo:
Hnutí DUHA Olomouc v lednu 2000
(dotisk v květnu 2000)
Publikace neprošla jazykovými korekturami

Vytiskla:
Tiskárna TINA, Welnerova 1a, Olomouc

Hnutí DUHA Olomouc, Dolní náměstí 38, 772 00, Olomouc, tel.: 068/522 85 84,
email: hduhaol@iol.cz, www.duhafoe.cz

Poznámka vydavatele:

Studie „Skleněné a PET lahve na minerální vody – posuzování životního cyklu“ je v současné době nejkompexnějším porovnáním obalových materiálů z hlediska jejich vlivu na životní prostředí. Pro úplnost je ale třeba upozornit na dva faktory, jež nebyly v celkovém srovnání zahrnuty.

1) Ve variantě PET – recyklace není zohledněna úspora energie a primárních surovin při výrobě polyesterových (PES) vláken. Produkt recyklace PET lahví (PES vlákna) je využit při výrobě netkaných textilií a nikoli na výrobu nových lahví (jako tomu je při recyklaci skleněných střeptů). Je tedy sice sporné, zda úspory energie a materiálu recyklací patří do životního cyklu PET lahve, ovšem při interpretaci výsledků studie bychom je měli brát v úvahu.

2) V kategorii tuhý odpad je porovnávána pouze hmotnost a nikoli objem produkovaného odpadu. V tom případě by k negativům jednorázových PET lahví ve variantě PET – skládka přibyl výrazně větší zábor půdy skládkováním.

Hnutí DUHA Olomouc