

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE, PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky

# **Analýza moderních alternativních druhů těsnících bariér pro skládky odpadů**

Modern alternate types of sealing barriers analysis for landfills

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Jana Matoušová



Vedoucí bakalářské práce: Ing. Zdeněk Kudrna, CSc.

Praha, červen 2010

Děkuji vedoucímu své práce za pomoc při přípravě a vedení bakalářské práce.

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracovala sama a všechny zdroje použité v mé práci jsem uvedla.

## ABSTRAKT

Lidí i odpadu na naší planetě neustále přibývá, a tak i přes jistou neatraktivnost tématu, jsou skládky aktuálním a nepřehlédnutelným tématem. V této práci seznamuji čtenáře s platnými normami a zákony týkající se skládek, od nichž se jejich zakládání a konstrukce odvíjejí. Dále předkládám přehled variantních aplikací různých materiálů, které je při stavbě skládky možné použít, a v dnešní době pro inženýry dostupné způsoby těsnění skládek. Nezabývám se však jen alternativními možnostmi těsnění, ale i standardními, které jsou stále hojně používanými způsoby utěsnění skládek.

Abych situaci v České republice uvedla ve světovém kontextu, uvádím příklady vyrovnávání se se skládkováním i v jiných zemích, například v Chile, kde se snaží využívat místní suroviny. Co se skládkování a zabezpečení odpadu týče, vzorem nám může být jeden z našich sousedů – Spolková republika Německo, které se v této části věnuje nejobsáhleji.

Každá z mnou uvedených alternativ má svá negativa i pozitiva. Nechávám na vůli a názoru každého čtenáře, aby výhody a nevýhody každého řešení sám vyhodnotil. Je také možné přiklonit se k již osvědčeným a dlouho používaným způsobům skládkování, jen v jejich modernizované a zdokonalené podobě.

## ABSTRACT

People and waste on our planet is constantly increasing, and so despite the unattractiveness topic the landfills are the current and noticeable issue. This paper deals with the standards and laws relating to landfills, from which they depend for the creation and construction. I should present an overview of the different variants of application materials to the construction of the landfill could be used, and today sealing landfills are available for engineers. But just I do not engage in alternative sealing options as well as standard which are still widely used methods of sealing landfills.

To the situation in the Czech Republic stated in a global context, I give examples of coping with the landfill in other countries such as Chile, where they try to use local raw materials. What is landfill waste and security are concerned; our model may be one of our neighbours - Germany, which in this part is devoted to most extensively.

Each of these options has its pros and cons. I leave at will and view of each reader to evaluate the advantages and disadvantages of each solution. It is also possible to adhere to the already proven and well used ways of depositing, in their modernized and improved form.

## OBSAH

1 ÚVOD.....	1
2 METODIKA PRÁCE.....	2
3 SKLÁDKA .....	2
4 ODPAD .....	4
4.1 Legislativa .....	4
4.1.1 <i>Druhy odpadů</i> .....	5
4.1.2 <i>Těsnící vrstvy na základě třídy vyluhovatelnosti</i> .....	6
5 NORMY ČSN .....	6
5.1 Koeficient propustnosti .....	7
5.2 ČSN 83 8030 .....	7
5.3 Těsnění dle normy ČSN 83 8032 .....	8
6 TĚSNĚNÍ .....	9
6.1 Standardní těsnění .....	10
6.2 Alternativní těsnění .....	13
6.2.1 <i>HDPE geomembrány bez monitorovacího systému úniků</i> .....	14
6.2.2 <i>Syntetické pláště</i> .....	14
6.2.3 <i>Geosyntetické Jílové Těsnění (GCL)</i> .....	15
6.2.4 <i>Bariéra z asfaltového betonu</i> .....	16
6.2.5 <i>Těsnění prováděná „in situ“</i> .....	16
6.2.6 <i>Kapilární bariéra</i> .....	17
6.2.7 <i>Alternativní minerální materiály</i> .....	18
6.2.8 <i>Polymer – upravená písčito-bentonitová směs</i> .....	19
7 SKLÁDKOVÁNÍ V ZAHRANIČÍ .....	20
7.1 Spolková republika Německo .....	20
7.2 Dánsko .....	22
7.3 Itálie .....	23
8 ZÁVĚR .....	23
POUŽITÁ LITERATURA .....	25
PŘÍLOHA (Schéma skládky; Schéma těsnících vrstev; tabulky; mapy rozmístění skládek v ČR)	

## 1 ÚVOD

Skládkování odpadů je v České republice stále nejrozšířenější metodou likvidace odpadu, i když se pomalu začíná uplatňovat i spalování a recyklace. V této práci se zaměřuji na přehled možností druhů těsnění skládek. Některé z nich byly v době sepsání prací, z nichž vycházím, ještě ve vývojové fázi, domnívám se ale, že všechny jsou na určitých lokalitách dobře použitelné. Záleží na přístupu inženýrů, projektantů a investorů, jak se k řešení konkrétních lokalit postaví. Někdy se investoři nezajímají, zda je některá alternativa zakrytí skládky šetrnější a vhodnější pro daný projekt. Ohlížejí se spíše na finance.

U starších skládek se při projektu a realizaci bohužel nedbalo na dostatečné zabezpečení přírodního prostředí a následky se musí řešit dodnes. Za vrchol zabezpečení skládek se většinou považovalo oplocení areálu, které mělo zabránit nežádoucímu ukládání odpadů. Likvidace starých zátěží je hodně finančně i časově náročná a projektové řešení je obtížné. Obrovská produkce nerecyklovatelného a jinak nevyužitelného odpadu má za následek problémy s jeho ukládáním. S vyprodukovaným odpadem se musí nějakým způsobem naložit. Je několik možností: opětovné využití, recyklace, kompostování, spalování, výroba paliv nebo uložení na skládku. Samozřejmě likvidace odpadů záleží na možné či reálné nebezpečnosti odpadu. Dříve než se pro nás stanou odpadem, mohou se stát druhotnou surovinou. Záleží na nás, zda pod těmito materiály a výrobky uvidíme nejdříve druhotné suroviny a teprve potom odpady.

Naše společnost si začíná uvědomovat nutnost ekologizace techniky a ochrany životního prostředí, zaměřuje stále více pozornost na bezodpadové technologie, dokonalé využití obnovitelných zdrojů a hledá cesty jak zmenšit množství odpadu z továren a domácností, či jak je upravit nebo využít (Jurník, 1994). Přestože stále dochází k pokroku v technologiích a technice, bude prozatím nadále potřeba budovat, provozovat a uzavírat skládky.

Bezodpadové hospodářství zatím není v provozu a možná ani v uskutečnitelných návrzích. V souladu s fyzikálními zákony musí při jakékoliv lidské činnosti a existenci organismů vznikat odpady, které nelze zcela zneškodnit. Proto je důležité, aby škodlivé a nebezpečné odpady a látky v nich obsažené nemigrovaly. Příznačně je to vyjádřeno v mottu semináře „Těsnění skládek – rozhodující činitel ochrany životního prostředí“ uspořádané Československou společností pro životní prostředí, který se sice konal před více než patnácti lety, ale výstižně zní: „Odpady by se kompostovat měly, spalovat se mohou, ale skládkovat se musí“ (Morch, 1992). Jako se přemýšlí nad alternativními způsoby utěsnění skládek, tak se za určitých předpokladů, které začínají u legislativních záležitostí, alternativou skládky může stát snížení množství odpadů, recyklace, výstavba spaloven, anaerobní vyhnívání, kompostování, mechanicko-biologické čištění, pyrolýza, „plasma arc gasification“ ([www.nationmaster.com](http://www.nationmaster.com)), nebo nejlépe kombinace všech. V příl.č.4 je výčet a počet zařízení pro úpravu, využívání a zneškodňování odpadu v ČR. Seznam způsobů nakládání s odpady v ČR je v příl.č.5.

Ze statistik vyplývá, že 42% tuhého komunálního odpadu (TKO) EU skončí na skládkách, 38% se recykluje a 20% putuje do spaloven. Skládky se nejvíce využívají v Rumunsku, Bulharsku, Litvě, na

Maltě a v Polsku. Evropská komise dokonce nemá ani samostatné oddělení, které by se odpadem zabývalo a místo toho tento problém paradoxně řeší oddělení zodpovědné za udržitelnou spotřebu a produkci ([www.euractiv.cz](http://www.euractiv.cz), 2009).

Je zcela jasné, že skládka může být velmi nebezpečná nejen pro své bezprostřední okolí. Například díky podzemní vodě se kontaminace může rozšiřovat do vzdálenějších míst. Schopnost samočištění půdy je velmi omezená. Musíme proto dbát na dostatečné zabezpečení skládky, protože sanace případné kontaminované půdy by byla nákladnější, než samotné bezpečnější zatěsnění skládky. Dnes se staré zátěže musí složitě a nákladně sanovat. Zpravidla se preferuje umístění skládky v blízkosti staré nezabezpečené skládky ve směru spádu od staré skládky. Využívá se tak již znečištěné lokality namísto nových území.

## 2 METODIKA PRÁCE

Bakalářská práce je psaná formou rešerše. Materiály jsou převážně vyhledány z elektronických informačních zdrojů. Přístup k nim jsem získala z fakultní knihovny a z Národní technické knihovny. Jednalo se zejména o „Web of Knowledge“ nebo „Science Direct“. Zdroje zabývající se zabezpečením skládek v Německu a novou normou v Německu mi poskytl školitel. České státní normy jsem si opatřila na Úřadě pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Odborné knihy a časopisy jsem měla vypůjčené z knihovny a zákony jsem vyhledávala na portálu veřejné správy ČR.

## 3 SKLÁDKA

Před rokem 1950 skládky neexistovaly. Odpady se vyhazovaly do údolních niv a strání. Nikdo nedělal nic pro to, aby se zabránilo výluhu z kontaminovaného prostředí do podzemní vody. Kromě znečištění tyto nánosy odpadků také způsobovaly zápach, množily hlodavce a ohrožovaly lidské zdraví. Až od 70. let 20. století se inženýři v západní Evropě začali plně věnovat projektování skládek.

Skládka je nejstarším způsobem odstranění antropogenních odpadů. Odpady se tvoří neustále a nemusí být vždy spjaty jen s lidskou činností. Avšak ty odpady, které jsou „vytvořené přírodou“, se také většinou za vcelku krátkou dobu například rozkladem samy „odstraní“. Antropogenní odpady obsahují špatně rozložitelné či zcela nerozložitelné umělé látky, a tak je potřeba vyřešit, kam s těmito odpady, aby se nehromadily po celé přírodě a nedocházelo k šíření zápachu, chorob a hlodavců.

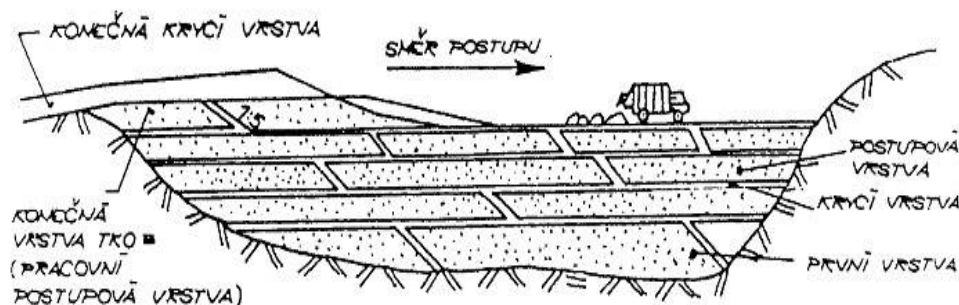
Od roku 1970 docházelo k významným objevům v geotechnice, vznikl nový obor - geosyntetika a vzrůstal zájem o životní prostředí. To vše umožnilo přechod od prostého odhazování k nezabezpečeným skládkám a nakonec ke konstrukcím moderních těsněných skládek. V Brazílii byla první zabezpečená moderní skládka konstruována v roce 1985 současně s konstrukcí první skládky v Číně. Poslední zkoušky odhalily aspekty týkající se návrhu, konstrukce a provozu, které jsou

zodpovědné za závady skládky. Jedná se především o těsnění a recirkulaci výluhu, která používá bioreakční technologii. Recirkulační výluhový systém znovu zavede výluh do skládky, kde se spojí s pH neutrální vrstvou, což může urychlit rozklad odpadu. Přitom se zvyšuje množství tekutiny bez odpadu. Hlavní výhodou tohoto systému je výluhové hospodaření, produkce metanu a zvýšení rychlosti biodegradačních procesů (De Brito Galvão, 2008).

Podle Altmana a Růžičky (1996) je skládka odpadu „*prostor, objekt nebo zařízení sloužící pro trvalé ukládání odpadů za účelem jejich zneškodnění a těleso skládky se pak skládá z konstrukčních vrstev včetně uloženého odpadu*“. Schéma skládky je uvedeno v příl.č.1.

U skládek TKO se navíc musí předpokládat, že půdu nad uzavřenou skládkou bude možné v budoucnu využít pro rekultivaci (lesy, lesoparky, rekreační rekultivace,...), a proto nesmí dojít k úniku škodlivin. K tomu účelu se konstruuje na každé skládce vhodné těsnění celého tělesa skládky.

Skládky, které jsou v souladu s postupy a zásadami zneškodňování se nazývají řízené skládky, oproti „černým skládkám“. Jako staré zátěže se označují podle mezinárodních dohod všechny skládky neřízené a nepovolené, a dále takové, které byly povoleny před rokem 1972. Od tohoto data se ve vyspělých zemích předpokládá řízené ukládání odpadu (Sameš, 1993). Na obr.č.1 je zjednodušeným způsobem znázorněn postup při skládkování. Proces skládkování odpadu je zneškodňování odpadů trvalým a řízeným uložením na skládce (ČSN 83 8030).



Obr. č.1: Technologie skládkování (Altman a Růžička, 1996)

Technologický postup celého tělesa a skládkování respektuje zásady ochrany životního prostředí a je v souladu se schválenou projektovou dokumentací a provozním řádem skládky (ČSN 83 8030). Základními obecnými požadavky na skládky je vhodná lokalizace, od které se odvíjí například existence příjezdové cesty ke skládce, či vybudování kolejí, nízká cena pozemku či umístění v „blízkosti“ společnosti. Skládka by také měla zabrat co nejmenší možné území, co nejvíce zhutňovat, aby se snížil její objem, jednotlivé vrstvy odpadů by se denně měly uzavírat zeminou,... apod. Dále se také musí pravidelně utěšňovat aktuální aktivní plochy skládky. Každá nově navezená vrstva se musí zhutnit a zatěsnit proti odlétnutí smetí a prachu, úniku plynů a dalšího. To může být provedeno nástřikem pěnového materiálu nebo dřevěnými odštěpkami.



Problematika umístění skládek odpadu v krajině se řídí územním plánem a následně podléhá stavebnímu řízení. V příl.č.6 ukazuje mapa rozmístění některých skládek v ČR a v příl.č.7 pak rozmístění starých ekologických zátěží v ČR. Výběr vhodné lokality se provádí na základě hydrogeologického a inženýrskogeologického průzkumu. Úkolem je také zhodnotit použitelnost výkopu a vyhledání výskytu těsnících zemin. Skládky se nesmí budovat například v:

- území pásem hygienické ochrany 1. stupně podzemních a povrchových zdrojů pitné vody
- území ochranných pásem 1. stupně přírodních léčivých zdrojů a přírodních minerálních vod
- území národních přírodních rezervací a památek
- území telekomunikačních sítí, dálkových produktovodů a jejich ochranných pásem
- území s výskytem intenzivních svahových pohybů
- dobývacím prostoru a chráněném ložiskovém území výhradního povrchového ložiska (ČSN 83 8030).

#### 4 ODPAD

Odpad je movitá věc, které se člověk zbavuje. Z pohledu práva odpad přesně definuje zákon č.185/2001 Sb., o odpadech. Odpady lze dělit z různých hledisek. Podle skupenství hmoty (pevné, kapalné), nebo podle původu (z těžby, průmyslové, zemědělské, komunální), jak ukazuje příl.č.3. Na různé typy skládek jsou kladeny různé požadavky na technologie a použitou techniku. Tato bakalářská práce se zaměřuje na skládky TKO.

##### 4.1 Legislativa

Rok 1991 je pro výstavbu skládek v ČSFR velmi významný. V tomto roce náš stát přijal první zákon o odpadech, který od té doby prošel řadou úprav a z dnešního pohledu je nevyhovující. Byl ale prvním náznakem, že si uvědomujeme, že odpad se stává civilizačním problémem (Korostenský, 1992a).

V zákoně č. 185/2001 Sb., o odpadech (novelizován zákonem č. 7/2005 Sb.) se píše:

- Pojem odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit a přísluší do některé ze skupin odpadů uvedených v příloze tohoto zákona.
- Komunálním odpadem se rozumí veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob, a který je uveden jako komunální odpad v prováděcím právním předpisu, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání.

- Odpadové hospodářství je činnost zaměřená na předcházení vzniku odpadů, na nakládání s odpady a na následnou péči o místo, kde jsou odpady trvale uloženy, a kontrola těchto činností.
- Skládkou odpadů se myslí technické zařízení určené k odstraňování odpadů jejich trvalým a řízeným uložením na zemi či do země.
- Každý má při své činnosti nebo v rozsahu své působnosti povinnost předcházet vzniku odpadů, omezovat jejich množství a nebezpečné vlastnosti. Odpady, jejichž vzniku nelze zabránit, musí být využity, případně odstraněny způsobem, který nikterak neohrožuje lidské zdraví a životní prostředí. Uložení na skládku mohou být odstraňovány pouze ty odpady, u nichž jiný způsob odstranění není dostupný nebo by přinášel vyšší riziko pro životní prostředí či lidské zdraví.

#### 4.1.1 Druhy odpadů

Podle vyhlášky MŽP č.381/2001 Sb. se podle odvětví, oboru nebo technologického procesu, v němž odpad vzniká, zařadí odpad do skupiny a dále podskupiny. V dané podskupině se vyhledá název druhu odpadu s příslušným katalogovým číslem. Dle Katalogu odpadů máme 20 skupin odpadů.

Skládky se rozlišují podle způsobu technického zabezpečení a provozování do tří skupin dle vyhlášky Ministerstva životního prostředí č. 383/2001 Sb.:

- Skupina S-inertní odpad (S-IO) je určena pro inertní odpady kategorie ostatní odpad, jejichž vodný výluh nepřekračuje v žádném z ukazatelů limitní hodnoty třídy vyluhovatelnosti II a limitní hodnoty obsahu organických škodlivin v sušině. Skládky inertního odpadu nevyžadují technickou bariéru. Podloží těchto skládek musí být tvořeno geologickou bariérou z hornin se součinitelem filtrace  $k \leq 1 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  o mocnosti nejméně 1 m. Pokud geologická bariéra tuto podmínku nesplňuje, může být uměle doplněna vrstvou zemního těsnění o mocnosti nejméně 0,5 m s  $k \leq 1 \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (ČSN 83 8030).
- Skupina S-ostatní odpad (S-OO) je určena pro odpady kategorie ostatní odpad, jejichž vodný výluh nepřekračuje v žádném z ukazatelů limitní hodnoty třídy vyluhovatelnosti III, pro upravené odpady kategorie ostatní odpad, jejichž přijatelnost na jednotlivé skupiny skládek nelze hodnotit na základě jejich vodného výluhu (např. komunální odpad a směsný stavební a demoliční odpad) a pro nebezpečné odpady upravené stabilizací, jejichž vodný výluh nepřekročí limitní hodnoty třídy vyluhovatelnosti III, nebo umístěné v uzavřených kontejnerech nebo nádobách. Tyto skládky musí mít dvě bariéry – geologickou a technickou (ČSN 83 8030).
- Skupina S-nebezpečný odpad (S-NO) je určena pro odpady kategorie nebezpečný odpad. Skládky nebezpečného odpadu musí mít nejméně dvě bariéry – geologickou a technickou (ČSN 83 8030). Nebezpečný odpad je ten, který je uveden v Seznamu nebezpečných odpadů

nebo vykazuje některou z nebezpečných vlastností uvedenou v zákoně č. 185/2001. Do nebezpečných odpadů patří např.: vrtné kaly a vrtné odpady, odpady z kožedělného průmyslu, odpady ze zpracování ropy, odpady obsahující rtuť, některé odpady z elektráren a jiných spalovacích zařízení,...

Komunální odpad je veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob, a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů. TKO patří podle katalogu odpadů do skupiny 20 ostatního odpadu - odpady z domácností a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů včetně složek z odděleného sběru. Jedná se například o papír, sklo, odpady z čištění komínů, zemina a kameny, směsný komunální odpad, odpady z čištění kanalizace či objemný odpad.

#### 4.1.2 Těsnící vrstvy na základě třídy vyluhovatelnosti

Skládky pro odpady s vodným výluhem limitních hodnot II. třídy nevyžadují žádnou technickou bariéru, protože do této kategorie patří skládky S-IO. Skládky odpadů s vodným výluhem nepřesahující třídu vyluhovatelnosti III a skládky pro odpady, které nelze hodnotit na základě vyluhovatelnosti, musí mít nejméně jednu bariéru. Pro odpady s vodným výluhem přesahujícím limitní hodnoty III. třídy se navrhuje těsnění individuálně s ohledem na charakter a možné interakce ukládaného odpadu a jeho nebezpečnost pro různé složky životního prostředí. Tyto odpady mohou být také uzavřeny v kontejnerech a umístěny na zvlášť vyčleněnou, samostatně sledovanou a monitorovanou plochu, na skládce odpadů s vodnými výluhy limitních hodnot III. třídy (ČSN 83 8030).

## 5 NORMY ČSN

Při výstavbě skládky jde zejména o zatěsnění a odvodnění tělesa skládky a případně zřízení vodní a plynové drenáže. Dále musí být také zřízen monitorovací systém uvedený do provozu ještě před započítím skládkování. Uzavřením skládky se myslí souhrn prací a opatření postupně prováděných na tělese skládky co nejdříve po ukončení skládkování odpadů. Účelem uzavření je zabránit potenciálnímu poškození nebo ovlivnění složek životního prostředí v okolí skládky. Uzavření skládek musí vycházet z místních podmínek a z požadavků daných předpisy s ohledem na třídu vyluhovatelnosti odpadů uložených na skládce (ČSN 83 8035). Uzavírací vrstvy skládky tvoří vyrovnávací vrstva (propustný jemnozrný materiál alespoň 0,25 m tlustý), těsnící vrstvy a ochranná vrstva (ČSN 83 8035). Podloží skládky zabírá část geologického prostředí, které se nachází pod základovou spárou skládky. Základová spára skládky je plocha, v níž se stýká konstrukce skládky s podložím (ČSN 83 8030). Povrch podloží skládky se profiluje do tvaru střešovité plochy pro vytvoření odtoku průsakových vod (Altman a Růžička, 1996). I těsnící vrstva je profilována do menších střešovitých útvarů, aby docházelo k odtoku výluhu do podélného drénu a do jímky.

## 5.1 Koeficient propustnosti

Z hlediska propustnosti, která je charakterizována koeficientem filtrace, jenž vyjadřuje míru propustnosti pórovitého prostředí pro vodu, rozeznáváme pět skupin zemin: velmi propustné, propustné, málo propustné, nepropustné a velmi nepropustné. Podle ČSN 83 8030 se koeficient filtrace stanovuje u vzorku zhutněného metodikou Proctorovy zkoušky do ulehlosti předepsané pro těsnící vrstvu a to při hydraulickém gradientu  $i=30$ . Pro těsnění skládek je důležité, aby tento koeficient filtrace byl menší než  $10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$ . Pro těsnící vrstvy při uzavírání skládek však stačí  $k \leq 1 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$  (ČSN 83 8032).

Propustnost minerálního těsnění se zpravidla stanovuje laboratorně ze vzorků o vlhkosti a objemové hmotnosti odpovídajících hodnotám v zemní konstrukci a to při hydraulickém sklonu blízkém skutečným poměrům. Zeminy vykazují velkou filtrační anizotropii a většinou je propustnost v horizontálním směru několikanásobně větší než ve směru vertikálním. Na propustnost zemin má vliv velikost a tvar zrn, pórovitost zeminy, tvar a uspořádání pórů, stupeň nasycení, viskozita vody, druh proudění a tloušťka absorpční vrstvy na stěnách pórů. Různými opatřeními lze propustnost měnit. Snížit propustnost lze například injektováním cementu či bentonitu do písčitých zemin, injektováním potrhávaných jíílů, chemickou stabilizací, vmísením asfaltu či dehtu apod. Pro skládky TKO se jako nejčastější metoda pro zmenšení propustnosti používá zhutňování zemin, protože je to zřejmě nejlevnější varianta (Faltus, 1993). Při výstavbě těsnících vrstev skládek je nutno zabezpečit, aby se vlhkost zeminy před zakrytím nezměnila, jinak je nutné provést nové zkoušky.

Stanovení koeficientu filtrace v poli se dosáhne nejspolehlivěji čerpacími zkouškami nebo zkouškami nálevovými, stoupacími či vodními tlakovými nebo vsakovací zkouškou. V laboratoři se používá propustoměr nebo tlaková komora. Zcela nespolehlivé je u jemnozrnných zemin určení propustnosti z křivky zrnitosti (Pašek a Škopek, 1993).

## 5.2 ČSN 83 8030

ČSN 83 8030 podrobněji rozebírá požadované vlastnosti těsnění v závislosti na druhu ukládaného odpadu a přírodních podmínkách. Tato norma dělí skládky do tří skupin podle druhu ukládaného materiálu, resp. podle jeho vodného výluhu, dle zákona č.185/2001 Sb. Skládky všech skupin mohou být budovány pouze v lokalitách, kde je nejvyšší hladina podzemní vody nejméně 1 m pod úrovní nejnižšího těsnícího prvku skládky.

Skládky skupiny S-OO musí mít dvě bariéry - geologickou a technickou.

Za geologickou bariéru se považuje podloží o mocnosti nejméně 1 m z hornin se součinitelem filtrace  $k \leq 1 \cdot 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$ . Pokud geologická bariéra tuto podmínku nesplňuje, může být doplněna vrstvou, jejíž parametry musí splňovat podmínku, že teoretické proteklé množství na  $1 \text{ m}^2$  plochy činí nejvýše  $3 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$ . Tloušťka vrstvy by však neměla být menší než 0,5 m. Pro doplnění geologické bariéry mohou být použity např. bentonitové rohože nebo asfaltové, asfaltobetonové nebo betonové těsnění.

Technická bariéra může být:

- zemní (z horniny s hodnotou součinitele filtrace menším než  $1 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ; zemina musí být zhutněna nejméně ve třech vrstvách a konečná tloušťka ve zhutněném stavu musí být nejméně 0,6 m; těsnění musí být chráněno proti vysychání a následnému popraskání)
- fólie (musí být odolná proti korozi s minimální tloušťkou 1,5 mm)
- nebo jiný těsnící prvek se srovnatelnou funkční vlastností.

U skládek skupiny S-OO a S-NO musí být jako technická bariéra použito fóliové těsnění. Skládky S-IO nevyžadují technickou bariéru.

Jednoduché těsnění může být zhotoveno za daných podmínek z horniny či upravené zeminy nebo z jiného těsnícího materiálu srovnatelných vlastností. Těsnění však musí být položeno v celé ploše styku tělesa skládky s terénem, ať se jedná o jednoduché či kombinované těsnění. Fóliové těsnění musí být pokládáno a spojováno tak, aby byla vytvořena homogenní souvislá plocha, a před zakrytím musí být fólie podrobena zkoušce svarů v celé délce. Těsnost fólie se posuzuje vizuálně či doplňkově geofyzikálními měřeními nebo měřeními vysokým napětím.

Kombinované těsnění je podle ČSN 83 8030 zřizováno tam, kde podloží skládky nemá přirozenou geologickou bariéru. Některé příklady sestav uzavíracích vrstev skládky ukazuje příl.č.2.

Po dosažení konečné výškové úrovně odpadů nemusí být skládky odpadů třídy vyluhovatelnosti I a II nepropustně uzavřeny proti vnikání srážkových a povrchových vod. Odstranění vody se zajišťuje odvodňovacím systémem. U III. třídy vyluhovatelnosti je nutné nepropustně skládku uzavřít a zajistit odvodnění.

### 5.3 Těsnění dle normy ČSN 83 8032

Těsnící systém znamená soustavu vrstev těsnících materiálů (přírodních nebo umělých) doplněnou dalšími vrstvami pro jejich mechanickou ochranu. Jedním nebo více z těchto prvků může být zlepšena geologická bariéra. Těsnící systém skládky se navrhuje s ohledem na celkové uspořádání skládky, kategorii odpadů a na přírodní podmínky. U svrchního těsnění záleží ještě na způsobu rekultivace povrchu skládky. Základním dlouhodobým požadavkem na použité materiály je nízká propustnost, schopnost snášet deformace, chemická odolnost a schopnost omezit difúzi znečištění do okolí. Zeminy použité do zemního těsnění nesmějí po zhutnění vykazovat vyšší součinitel filtrace než  $k=1 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , kdežto pro těsnění při uzavírání stačí  $k \leq 1 \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Vlastnosti zemin určených k těsnění a jejich vhodnost se posuzují na základě laboratorních zkoušek. Podmínky pro použití zemin do těsnění jsou zejména:

- obsah organických látek nesmí být větší než 5 % hmotnosti
- mez tekutosti nemá být větší než 50 %
- velikost největších ojedinelých zrn nesmí přesahovat  $\frac{1}{2}$  tloušťky vrstvy po zhutnění nebo

100 mm

- vlhkost zeminy při ukládání do konstrukce nesmí být nižší než optimální.

Nejmenší požadovaná míra zhutnění zeminy je 95 % maximální objemové hmotnosti metodou Proctorovy standardní zkoušky. Tloušťka fólie do těsnění skládek skupiny S-OO nesmí být menší než 1,5 mm. Pro uzavírání skládek je nejmenší tloušťka fólie 1 mm.

## 6 TĚSNĚNÍ

Stabilita skládky je velmi komplexní veličina, a proto závisí na mnoha faktorech: složení odpadu, hydraulická vodivost, změna objemu, sedání, tlaky, napětí a pevnost. Analýza, návrh a konstrukce skládky ovlivňují stabilitu a jsou funkcí zhutňovací kontroly. Návrhové faktory ve spojení s výluhem a faktory ovlivňující stabilitu jsou zodpovědné za výběr krycího systému.

Výluh a plyny mají přímý efekt na stabilitu skládek, a to hlavně na kontrolní systém – těsnění a krytí. Zvýšená vodní hladina zvyšuje jednotkovou hmotnost odpadu, čímž se zvýší napětí na těsnění a podklad. Dodatečná tekutina by mohla mít za následek zmenšení efektivního napětí. Tudíž odpad s vyšším obsahem vody může redukovat pevnost ve smyku tak, že zvýšená vodní hladina může zvednout těsnění z místa. Proto pravidelná kolísání hladiny musí být předem zjištěna a odhadnuta během návrhu skládky (De Brito Galvão, 2008).

Účelem zakrytí skládky je zabránit vnikání srážkových vod do tělesa skládky, zamezit volnému šíření skládkových plynů do okolního prostředí a umožnit biologickou rekultivaci skládky (Dršina, 2000). Skládá se z několika vrstev: vrstva hrubozrnného materiálu (tvoří plynojemnou vrstvu a poskytuje stabilitu povrchu), těsnicí vrstva (zabraňuje infiltraci) a ochranná vrstva skládající se z rekultivační vrstvy a ornice (chrání těsnění před promrzáním, popraskáním a prorůstáním kořeny) (Bagchi, 2004).

Na technickou bariéru, která slouží k utěsnění a odvodnění základů skládky, plynule navazuje těsnění svahu a na něho vrchní těsnění zamezující průsaku povrchových vod tělesem skládky, úniku plynů a kontaminace do okolní zeminy a ovzduší (Jurník, 1994). Vrchní těsnicí vrstva musí splňovat trochu jiné požadavky, než jaké jsou kladeny na bazální těsnění. Pro ochranu vrchního těsnění je důležitá poslední tzv. rekultivační vrstva. Musí být dostatečně mocná, aby nedocházelo k poškozování těsnění vlivem klimatických změn a biologických vlivů, k čemuž je zapotřebí nejméně jednometrové vrstvy (Dršina, 2000). V Německu je předepsaná mocnost rekultivační vrstvy 2 m, protože se tak docílí toho, že k těsnicí vrstvě dojde jen omezené množství srážkové vody, díky čemuž nedochází v tomto ohledu k poškození těsnění a odpadá problém s výluhy.

*„Skládky domovního odpadu dosahují své z hlediska životního prostředí nejnebezpečnější aktivity v době, kdy již je skládkování ukončeno a skládka je zakryta a rekultivována. Lze sotva vytvořit takové minerální těsnění, které by své předepsané těsnicí vlastnosti vykazovalo po celou dobu životnosti skládky. Přesto je při jeho pokládce možné vytvořit takové předpoklady, aby se jeho vlastnosti časem*

*co nejméně zhoršovaly“* (Korostenský, 1992b). Tento názor není správný. Nejnebezpečnější aktivity se dosahuje ještě při navážkách a zhutňování. Při uzavření skládky je už pak důležitá následná péče zahrnující monitoring, ke které se investor zavazuje již od návrhu výstavby.

Z experimentálních zkušeností je jasné, že když ukončená skládka TKO zůstane bez svrchní izolace, dojde za určitou dobu k tomu, že prakticky veškerý přítok (srážky) opět vytéká ze skládky jako kontaminovaná průsaková voda, což může ohrozit okolní prostředí a podzemní vodu. Proto se dnes většina skládek úplně a nepropustně zakrývá. Zajistí se tak možnost recirkulace výluhu, a tedy odpadá nutnost stavět čistírnu skládkových vod. Avšak musí se docílit určité optimální vlhkosti odpadu, aby se urychlily rozkladné biochemické procesy a vytvářel se tak skládkový plyn vhodný k odčerpávání. Takže zůstává otázka, kdy a jakým způsobem je třeba dokončenou skládku zakrýt, aby se zabránilo nadměrnému průtoku průsaků a docílilo se maximálního efektu při tvorbě a těžbě skládkových plynů (Straka, 1993).

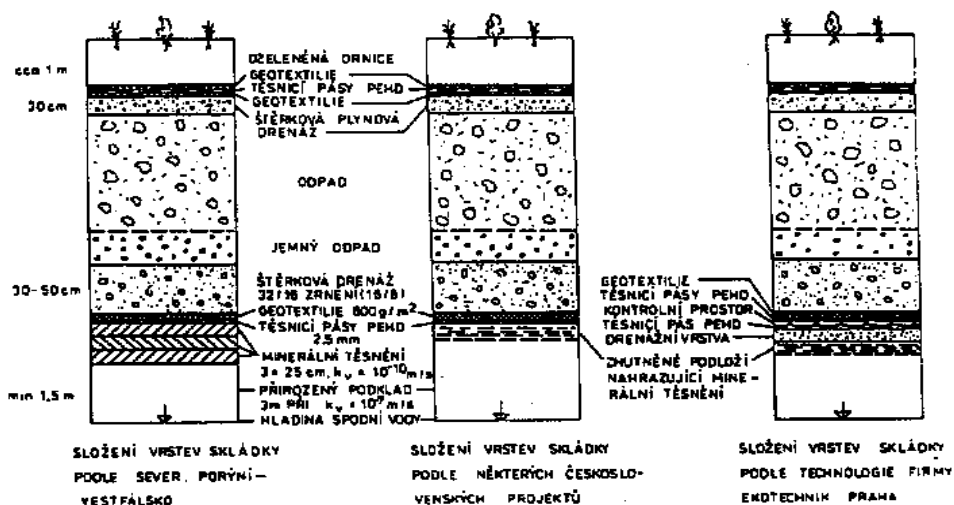
Záměrem svrchního zakrytí skládky je, jak už bylo napsáno dříve, předcházet a kontrolovat infiltraci srážek, čímž se předchází vzniku většího množství výluhu a emisím skládkových plynů. Vedlejším efektem je také prevence transportu prachu a smetí větrem.

Náklady na instalaci prudce letí nahoru, tudíž se lidé zaměřují na finanční výhody alternativních druhů uzavírání skládek. K seznámení se s finančními překážkami a se splněním technických požadavků je důležité vědět důvody pro a proti technickému provedení jednotlivých komponent krycího systému a nejistoty v jeho hodnocení, hlavně v ohledu na jejich dlouhodobou funkčnost. Ještě před několika lety mnoho skládek v Evropě nemělo ani přijatelnou geologickou bariéru ani těsnění na bázi skládky (Simon a Müller, 2004).

## 6.1 Standardní těsnění

V České republice se používají převážně dva druhy těsnění: minerální (zeminy s nízkou propustností) a těsnící HDPE fólie, která *„podstatným způsobem zabraňuje úbytku vlhkosti v zemním těsnění a tím i vzniku smršťovacích trhlin“* (Kořán, 1995). Na obr.č.2 je schéma těsnících vrstev použitých na skládkách v ČR.

Základním principem návrhu skládky je tzv. multibariérový koncept. Multibariérový systém pochází primárně z jaderné techniky a představuje členitý, nezávisle na sobě funkčně technický ochranný kryt k zadržení radionuklidů (Radlinger, 1998). Obsahuje kombinaci tří nezávislých bariér: geologická a technická bariéra a vlastní těleso skládky jako bariéra (Simon a Müller, 2004). Multibariérový systém obsahuje zemní těsnění, geomembránu, ochrannou geotextilní vrstvu, drenážní vrstvu a ochrannou geotextilii. Se zvyšujícím se rizikem různých tříd skládek se zvyšují požadavky na těsnění. (Navia a kol., 2005).



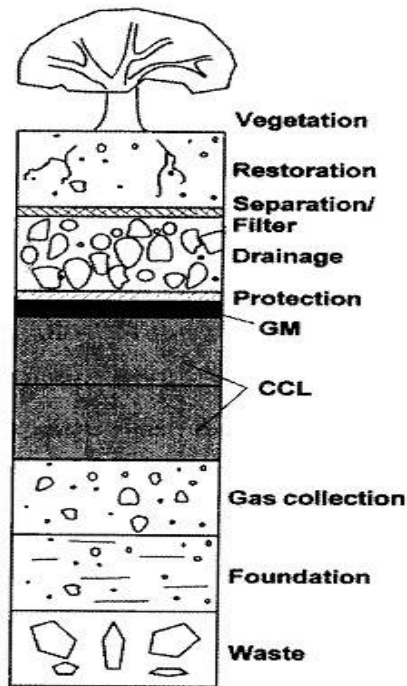
Obr. č.2: Složení těsnících vrstev skládek užitých v ČR podle jednotlivých projekčních škol a směrů (Altman a Růžička, 1996)

Standardní těsnění pro skládky TKO je kombinované těsnění z umělé geomembrány (HDPE) v úzkém kontaktu se zhutněnou jílovou vložkou (CCL). Aby bylo dosaženo velmi nízké hydraulické vodivosti ( $k \leq 5 \cdot 10^{-10}$  m/s při hydraulickém gradientu  $i=30$ ), je těsnění instalováno a zhutňováno s vyšším obsahem vody, než je optimum Proctorovy zkoušky. CCL je vyrobené z jemnozrné soudržné zeminy s určitým množstvím jílových minerálů. Certifikované geomembrány jsou z vysoko hustotního polyetyleny, jsou UV-odolné se sazemi a s tloušťkou 2,5 mm. Tloušťka záleží na typu odpadu a na environmentálních nařízeních každé země. Hlavními typy geomembrán jsou:

- Syntetické: PVC, LDPE, MDPE, HDPE, CPE (chlorovaný polyetyl), PA (polyamid)
- Gumové: butyl, epichlorhydrin guma, neopren, EVA (etylen vinylacetát)
- Kombinované: PVC-nitril guma, PE-EPDM, PVC-etyl vinylacetát, sesítěné CPE (chlor polyetylen) (De Brito Galvão, 2008).

Složené těsnění zahrnuje hydrofóbní (vodu odpuzující) a hydrofilní (smáčivý) těsnící materiál. Úzký kontakt umožňuje CCL těsnit možné vady v geomembráně, zatímco geomembrána chrání CCL. Je prokázáno, že složené těsnění je tudíž vysoce efektivní a odolné proti vadám. Prakticky je neprostupné pro konvekční proud vody nebo plynu a pro difuzi všech druhů škodlivin (Simon a Müller, 2004). Zemní těsnění mají dokonce schopnost vázat na sebe z výluhu rozpuštěné eventuálně suspendované látky. Na Obr.č.3 je schematické zobrazení standardního zakrytí skládky.





Obr. č. 3: Schematický diagram standardního zakrytí skládky (Simon a Müller, 2004)

Hlavní konstrukční problémy geomembrány zahrnují rozdílné sedání, možné proražení, migrace plynu, nízkoteplotní režim pro skládky vystavené sub-mrazivým teplotám, hluboce kořenící rostliny a náchylnost na hlodavce. Chyby v zemním těsnění jsou připisované kvalitě konstrukce a vnějšímu vysychání (praskání, které zvyšuje hydraulickou vodivost). Jílové zemní těsnění je vhodné, když teplota a kolísání vlhkosti jsou minimální, avšak když je teplota a kolísání vlhkosti vysoké, vznikají praskliny, které zvyšují koeficient filtrace (De Brito Galvão, 2008).

Hloubka, do níž se projevuje účinek mrazů, může u nás dosahovat i více než 0,8 m. Voda v pórech se mění v led, což vede ke zvětšení objemu, a tím ke zdvihání povrchu. Změna struktury a rozdělení vlhkosti v těsnící minerální vrstvě způsobené účinkem mrazu mohou být příčinou kvalitativní změny vlastností těsnění. V době mrazu není možné zhotovit minerální těsnění a hlína musí být při zpracování dostatečně vlhká, aby se netvořily trhliny (Jurník, 1994).

V tabulce č.1 je uvedena změna součinitele filtrace zjištěná v laboratoři u sprašové hlíny, kdy průměrná původní vlhkost byla 16,9 %. Po deseti dnech byl součinitel filtrace větší, než požadují normy. Proto se nesmí těsnící vrstva nechat nezakrytá přes zimu (Škopek, 1996).

Stav zeminy	k (m.s <sup>-1</sup> )
Zemina před zmrznutím	7.10 <sup>-10</sup>
Po 4 dnech účinku mrazu do -6°C	1.10 <sup>-9</sup>
Po 10 dnech účinku mrazu do -6°C	1,5.10 <sup>-9</sup>
Po 24 dnech účinku mrazu do -6°C	3,5.10 <sup>-9</sup>

Tab. č.1: Změna součinitele filtrace působením mrazu (Škopek, 1996)

Předpokladem pro použití minerálního těsnění je výskyt vhodných zemin v blízkosti skládky. Nejlépe se osvědčilo využití spraší a sprašových hlín (Kudrna a Škopek, 2003).

U nás se stále nejvíce používá tradiční zabezpečení, a to minerální těsnění, kdy se použije zemina o nízké propustnosti, těsnící fólie, nebo kombinace obou, tzv. kompozitní těsnění, které je technicky velmi perspektivní díky součinnostem různých typů těsnících prvků s rozdílnými hydraulickými a fyzikálními vlastnostmi (Faltus, 1993).

Původně se předpokládalo, že umělá geomembrána má servisní životnost nanejvýš 100 let a že CCL je dlouhodobá komponenta ve standardním složeném těsnícím systému napodobujícím přirozený vodotěsný geologický útvar. Mezitím se pohled úplně změnil. Ukazuje se, že časové období funkčních inženýrských vlastností úředně certifikovaných instalovaných HDPE geomembrán je příliš dlouhé, že stárnutí není závažné pro návrhové uvažování těsnění skládky HDPE geomembránou. Na druhou stranu se ověřilo, že jednoduché CCL na vrcholu tělesa skládky a nad tím ležící drenážní a rekultivační vrstva, která je typicky 1 m tlustá, může být porušena kořenovým průnikem, rýpající zvěří a utvářením trhlin způsobených vysycháním (Simon a Müller, 2004).

Popis a specifikace standardních těsnících systémů, které poskytují nařízení a předpisy, jsou založeny na výzkumu a zkušenostech, které jsou výhradně zaměřeny na bazální těsnění. To je poté použito na krycí systémy bez dalších ohledů na speciální podmínky pro krycí systém. Mezitím bylo zjištěno, že tlaky v zakrytí na vrchu skládky se podstatně liší od těch na bázi. Především vliv počasí během sezóny, účinky kořenů rostlin, rozdílné sedání a celkové stlačení jsou podceněné. Syntetické materiály jsou obzvláště vhodné ke splnění požadavků. V závislosti na místních podmínkách mohou alternativní materiály nahradit standardní CCL ekvivalentně nebo dokonce s lepší dlouhodobou technickou funkcí (Simon a Müller, 2004).

## 6.2 Alternativní těsnění

Alternativní těsnění se používají zejména, pokud není v blízkosti zdroj vhodných zemin pro vytvoření minerálního těsnění nebo je-li to ekonomicky výhodnější.

### 6.2.1 HDPE geomembrány bez monitorovacího systému úniků

HDPE geomembrána hraje roli jako absolutní bariéra proti tlaku vody a plynu. Transport znečištění může nastat jen při difuzi. Její rychlost je závislá na chemickém složení, je ale prakticky neprostupná pro těžké kovy a anorganické znečištění. K dlouhodobému zachování funkčnosti je důležitá správná instalace, aby nedošlo k porušení již při pokládání geomembrány na skládku.

Zavedením monitorovacího systému netěsnosti, který může objevit a lokalizovat díry a trhliny v geomembráně během konstrukce a manipulace s těsněním, se předchází a minimalizuje porušení těsnění. HDPE geomembrány s monitorovacím systémem jsou ekvivalentní alternativou standardního těsnění skládek TKO.

Využívají se také tzv. strukturální desky HDPE, které se pokládají přímo na základní těsnicí desku a které jsou na spodní kontaktní straně opatřeny za účelem přenosu tlakových sil rastrem výstupků. Tím vzniká dutý meziprostor, který umožňuje trvalou kontrolu těsnosti (Korostenský, 1992a).

Fólie podstatným způsobem zabraňuje úbytku vlhkosti v zemním těsnění a tím vzniku trhlin (Kořán, 1995). Uváděná životnost folií je 50 let, což se ale ještě nepodařilo otestovat.

### 6.2.2 Syntetické pláště

Syntetické pláště se vyrábějí z polymerů a dnes už s nimi mají inženýři mnohé zkušenosti, takže se čím dál více využívají. Syntetické pláště bývají vyztuženy:

- netkanými geotextiliemi z polyesteru, polypropylenu, polyamidu nebo skla
- tkanými geotextiliemi z týchž materiálů
- sítovinami a mřížovinami z polyamidů skla
- souvislými metalickými vložkami z nejrůznějších slitin (Sameš, 1993).

Vyztužení nemusí být v celé délce pláště. Z důvodu nákladnosti vyztužení se obvykle vkládá jen na nejvíce namáhaná místa.

Zvláštním případem je používání zdvojených či trojitých polymerových pláštů proložených termoplastovou mřížovinou s trvale kontrolovatelným meziprostorem, který lze dodatečně utěsnit. V Evropě se tento druh těsnění vylepšil odstraněním oddělovací mřížoviny a polymerové pláště se opatřily profilovaným povrchem, čímž se automaticky vytváří kontrolní meziprostor (Sameš, 1993). Pozornost musí být zvýšena při zhutňování, protože při nedostatečném utěsnění pórů v zemině by mohlo dojít k nerovnoměrnému sedání a tím k potrhání těsnění. Nutné je i sledovat hladinu podzemní vody, aby nedošlo k nepředpokládanému vzduť, což by mohlo mít za následek vznik deformací a porušení těsnících prvků. Plasty ale těsní i po značném přetvoření, pokud není namáhání bodové a prvek má dostatek prostoru k tvarování (Drtina, 2000).

### 6.2.3 Geosyntetické Jílové Těsnění (GCL)

Na trhu je řada produktů geosyntetickojílových těsnících matrací, např. s komerčním názvem Bentofix. Tento druh těsnění je znám pod zkratkou GCL (geosynthetic clay liners) a skládá se z umělých tkanin a z přírodního jílu (Pašek a Faltus, 1993). Obsahuje bentonitovou vrstvu uloženou sendvičově mezi dvěma geotextiliemi. Šetří prostor a je ekonomicky výhodnější alternativou stálé komponenty zakrytí skládky nahrazující CCL.

Aplikace GCL čelí třem návrhovým problémům v ohledu dlouhodobé funkce: vytváření trhlin díky vysychání, dlouhodobá smyková pevnost na strmých svazích a prorůstání kořenů. Ohledně vysychání se zjistilo, že rozdíl mezi GCL a CCL je díky tzv. samoregenerační funkci, která je závislá na zatěžovacích podmínkách. S určitým zatížením vytváření trhlin nad GCL zmizí díky vysoké bobtnavosti bentonitu při opakovaném smáčení. Během suchého léta se můžou vytvářet trhliny, které zvyšují hydraulickou vodivost, a během vlhké zimy se tyto trhliny díky bobtnání bentonitu uzavírají a je dosaženo nízké hydraulické vodivosti. Bentonitová vrstva má velmi nízkou smykovou pevnost, proto systém Geosyntetika/bentonit/geosyntetika potřebuje pro vyztužení stehy nebo propichování (Simon a Müller, 2004).

Nedostatkem je výměna sodných iontů v bentonitu za ionty draselné pocházející z krycích vrstev. Tím se mění jeho propustnost a bobtnavost a dochází k vytvoření trhlin díky smršťování při vysychání (Kudrna a Škopek, 2003).

Bentonitové rohože se poprvé objevily v Německu a USA. Mezi dvě tenké netkané geotextilie se položila vrstva suchého Na-bentonitu s vysokým obsahem montmorillonitu. Od té doby došlo k posunu v této technologii. Změnilo se složení, úprava náplně a technologie spojování těch dvou vrstev (Baslík, 1999).

Máme na výběr z několika variant:

- bentonitová vrstva přilepená mezi dvě geotextilie
- vrstva práškového bentonitu mezi dvěma geotextiliemi, které jsou spojeny prošitím nebo dráty
- bentonitová vrstva přilepená na folii (Pašek, Faltus, 1993).

Podle Bagchiho (2004) je členění druhů GCL:

- Geotextilií zakrytý – přilnavě spojený
- Geotextilií uzavřený – stehy spojený
- Geotextilií uzavřený – propichovaný
- Geomembrána s výztuží – přilnavě spojený.

Geotextilní vrstvy propojené proehlováním mají vlákna krycí vrstvy vtažena do podložní, a vlákna podložní vrstvy do vrstvy krycí. Zvyšuje to pevnost spojení a zaručuje, že nabobtnáním bentonitu nedojde k porušení aktivní bentonitové těsnící vrstvy (Kropáček, 1993). Spojí se utěsňují překrytím, posypáním práškovým bentonitem nebo promazáním bentonitovou pastou (Dršina, 2000).

Bentonitová vrstva je nejčastěji ze sodného bentonitu. Matrace jsou 7-10 mm tlusté a mají hmotnost asi 5 kg/m<sup>3</sup>. Bentonit za přístupu vlhkosti hydratizuje, bobtná, a tak vytváří těsnou uzávěru. Bentonitové matrace mají koeficient filtrace kolem 10<sup>-10</sup> m.s<sup>-1</sup>. Geotextilie zvyšují pevnost matrace. Většinou se GCL používá v kombinovaném těsnění. Má samouzavírací schopnost při malých průřezích. Bentofixové rohože se nesvařují, ale pouze překládají v šířce 30 cm. Nedochází tak k poruše svárů (Kropáček, 1993). Geosyntetický výrobek použitý pro ochranu snižuje lokální napětí, a tím brání nebo snižuje poškození povrchu nebo vrstvy, na kterou je položen. U skládek má chránit těsnící prvky – geomembrány (Baslík, 1999).

Ačkoli se geotextilie může použít k ochraně těsnění, výsledné nízké meziplošné tření mezi hladkou geomembránou a těsnící vrstvou může nepříznivě ovlivnit stabilitu skládky. Ke zvýšení meziplošného tření se používají jednostranně nebo oboustranně strukturované geomembrány. U tvarovaných geomembrán je problém, že tvarování může změnit některé fyzikální vlastnosti geomembrány a u těchto výrobků je obtížnější zjistit případné defekty těsnění (Vonpein a Lewis, 1991).

#### 6.2.4 Bariéra z asfaltového betonu

Asfaltová bariéra je složena ze směsi asfaltu s jemno- a hrubozrnným kamenivem. Asfaltové těsnění zahrnuje asfaltový beton základní vrstvy alespoň 8 cm s obsahem pórů menších než 5 % obj. a dva asfaltové betony těsnících vrstev, která je každá 6 cm s póry méně než 3 % obj. Dvojitě těsnění je potřebné k utěsnění spár v každé vrstvě. Na rozdíl od silniční pokládky jsou směsi velikostí částic více kontrolovány a obsah asfaltu je vyšší (Simon a Müller, 2004).

Těsnění z asfaltového betonu podle požadavků je téměř nepropustné pro vodu a plyn. Je velmi odolné proti mechanickému napětí a vysychání je zanedbatelné. Avšak je citlivý na „chemický atak“ uhlovodíků a koncentrované uhlovodíky ho můžou úplně zničit. Jsou přípustné jen malé deformace způsobené rozdílným sedáním, a proto stlačení díky celkovému stlačení krycího systému způsobí problém. Je náhradou CCL nebo HDPE u skládky S-OO (Simon a Müller, 2004).

#### 6.2.5 Těsnění prováděná „in situ“

Do kategorie těsnění prováděných „in situ“ patří plastické a poloplastické nástřiky, které se provádějí přímo na geotextilie položené bez spojování na urovnaný nebo i členitý přehutněný terén. Nástřiky mohou být jak v horkém tak ve studeném stavu a bývají simultánně opatřovány sypkými plnivými (Sameš, 1993). Používají se:

- dvousložkové hmoty smíchané až v náhubku trysky, zejména polyuretany, speciální pryskyřice, polyestery
- termoplastické polymery, jako akrylické emulze a různé elastomerové kaučuky
- modifikované bitumeny s různými aditivami

- polopropustné nástřiky z levných, často odpadových chemikálií z chemického průmyslu (Sameš, 1993)

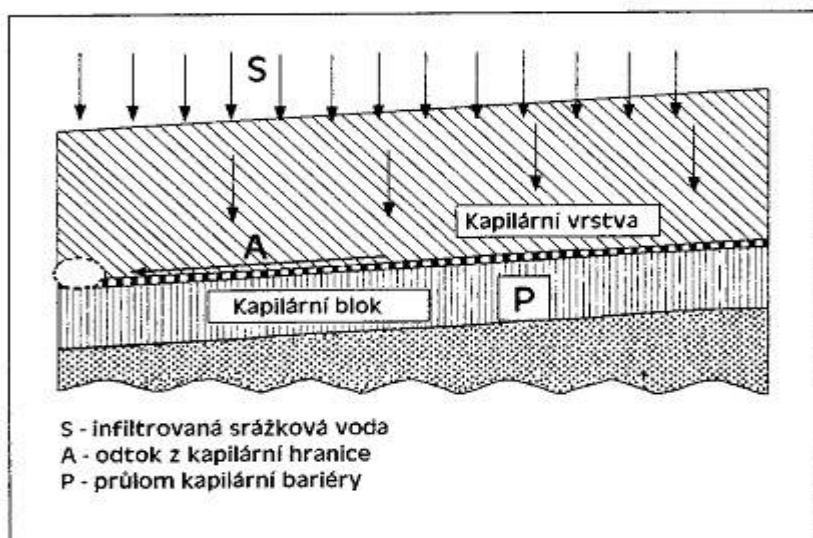
K těmto těsněním lze zařadit asfaltobetonové pláště, modifikované elastomery, resp. plastomery. Mají stabilní povahu, chovají se jako termoplasty nebo elastomery. Takto upravené asfaltobetonky jsou jako těsnicí materiál skládek používáné ve Švýcarsku a Japonsku (Sameš, 1993). Nevýhodou je poměrně vysoká cena materiálu.

#### 6.2.6 Kapilární bariéra

Kapilární bariéra představuje alternativní metodu k současně používaným způsobům uzavírání skládek. Přestože není tomuto způsobu těsnění věnována v České republice téměř žádná pozornost, jedná se o reálnou a v zahraničí používanou metodu pro zakrývání skládek.

Používá se jako doplněk pod folie či minerální těsnění, a to převážně na svahové části krycího systému. Obsahuje vrstvu jemnozrnné zeminy ležící přes vrstvu hrubějšího materiálu s vhodným sklonem. Kapilární vrstva dobře zrněného jemno- až střednězrnitého písku musí být přesně oddělena od podložní vrstvy drobnozrnného štěrku, která se nazývá kapilární blok. Způsob separace vrstev kapilární bariéry má zásadní vliv na její účinnost. Oddělení se provádí geotextilií, aby se zamezilo průniku menších částic písku do štěrku. Dále záleží na úklonu obou vrstev. Srážková voda je díky kapilárním silám zadržena nad kapilární hranicí. Je však důležité, aby tyto vrstvy měly vybudován sklon. Nejefektivnější je při sklonu 25° (Pícha a Kudrna, 2005), ale minimální doporučený sklon je 5°.

Ačkoli je použit minerální materiál, funkce kapilární bariéry není závislá na těchto mechanizmech přítomných tradičních minerálních těsnících komponent. Celý princip, který je znázorněn na obr. č.4, je založen na skutečnosti, že hydraulická vodivost kapilární vrstvy je v nenasyceném prostředí za určitých podmínek řádově vyšší než v kapilárním bloku. Kapilární síla v jemnozrnné zemině brání vstupu vody do hrubozrnnějšího materiálu kapilárního bloku. Protože nenasycená hydraulická vodivost v kapilární vrstvě je větší než v kapilárním bloku, voda bude proudit výlučně uvnitř této vrstvy tak dlouho, až obsah vody bude pod nasycením. K tomuto efektu dochází při náhlé změně zrnitosti na kontaktu obou vrstev, takže proto je důležité zajistit striktní oddělení.



Obr. č. 4: Schematický řez kapilární bariérou (Pícha a Kudrna, 2005)

V kapilární vrstvě může být dosaženo hydraulické vodivosti v řádu  $10^{-5}$ - $10^{-4}$   $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , v kapilárním bloku  $10^{-3}$   $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Kapilární vrstva se zpravidla provádí v mocnosti 0,4 m, přičemž jen asi 15-17 cm nad kapilární hranicí vykazuje vysoký stupeň nasycení a podílí se tak na proudění vody podél hranice. Kapilární blok by teoreticky stačilo provést v mocnosti 15 cm, ale zpravidla se buduje mocnost 30 cm (Kudrna a Pícha, 2005). Pro každé množství infiltrované vody existuje maximální přípustná délka, při jejímž překročení dojde k překonání maximálního hydraulického zatížení na kapilární hranici, nasycení kapilární vrstvy na kontaktu obou vrstev a průsaku vody do kapilárního bloku. Proto musí být těsnicí vrstva ve skládce přerušovaná systémem příčných subhorizontálních drénů pro odvedení vody z kapilární vrstvy (Mock a kol., 1992).

Výhodou oproti standardnímu jílovému těsnění je, že nehrozí riziko vysychání a trhlin, kapilární těsnění není citlivé na porušení při sedání skládky a je jednou z nejlevnějších variant těsnění (Pícha a Kudrna, 2005). Kapilární vrstva vystupuje jako drenážní (Simon a Müller, 2004).

### 6.2.7 Alternativní minerální materiály

Třebaže se na geomembrány poukazuje jako na nejlepší alternativu pro těsnění, jsou mimo dosah většiny rozvojových zemí kvůli vysoké ceně a potřebě kvalifikované pracovní síly na instalaci. Pro většinu rozvojových zemí je potřeba, aby těsnění skládky bylo přírodní, lokálně dostupné a bylo instalováno levným způsobem (De Brito Galvão, 2008).

Kromě použití jílu, který ukazuje cenný zdroj, druhy alternativních materiálů jsou hlavně směsi minerálů. Výhody jsou např. pevnost proti tvoření trhlin vysycháním a kvalita a homogenita směsi. Nevýhodou je citlivost na sedání.

Použití směsi bentonitu a zeolitu jako alternativy jílu v konstrukci složených těsnících systémů poskytuje teoreticky značnou redukci tloušťky bazálního těsnění skládek. Ukazuje nízkou propustnost

a může fungovat jako účinný chemický filtr. Zeolity mohou zadržovat těžké kovy (Tuncan a kol, 2003). Zeolity byly objeveny v roce 1756 a od té doby bylo rozpoznáno okolo padesáti druhů a nejméně sto padesát syntetizováno v laboratoři. Patentovaná technika těsnící zeminy zahrnuje spojení výměny iontů minerálů, přírodní jílu, jílové minerály a uhličitan vápenatý. Je založena na adsorpci, iontové výměně a krystalizačních mechanismech v průběhu času (De Brito Galvão, 2008).

Sediment, slévárenský písek, popílek z elektráren nebo dokonce rozbité cihly se navrhuje pro použití v minerální vrstvě. Avšak tyto materiály samy o sobě mohou být považovány za odpad, a proto může být použití sporné.

Ukázalo se, že u směsi rozbitých cihel a několika procent jílu a bentonitu se dosahuje hydraulické vodivosti menší než  $5 \cdot 10^{-9}$  m/s. Zkušenosti jsou velmi omezené a očekává se, že použití bude povoleno pouze pro dočasné zakrytí skládky (Simon a Müller, 2004). Alternativou je použití v jihovýchodních zemích směs jílu, bentonitu a zeolitu. V tomto případě budou zeolity zvyšovat adsorpční schopnosti těsnění.

Jeden důležitý aspekt hydraulických bariér je kapacita výměny kationtů (CEC) těsnícího materiálu. Většina běžných jílových minerálů (např. illit, kaolinit, chlorit) má CEC hodnoty mezi 5 a 40 meq/100g (Grim, 1968), zatímco přírodní zeolity 200 a 400 meq/100g (Bish a Guthrie, 1994).

Přírodní vulkanická zemina jižního Chile je zajímavým materiálem pro možné použití jako minerální těsnění, které má fyzikálně-chemické vlastnosti s ohledem na zadržení znečištění srovnatelné se zeolity. Asi dvě třetiny zemědělské půdy v Chile „odvozené“ z vulkanického popela se mohou považovat za důležitý zdroj těsnící zeminy pro budoucí projekty skládky. Hlavní fyzikálně-chemické vlastnosti vulkanické zeminy jižního Chile s allophanem, jako hlavní půdotvornou fází, byly analyzovány a srovnány s běžnými zeolity na evropském trhu. Konečným cílem studie bylo testovat vulkanickou zeminu pro použití jako minerální těsnění. Má na tom speciální zájem jižní Chile, protože tam není žádný alternativní přírodní materiál pro bazální těsnění. Dostatečné množství by mohlo být získáno ihned z městských stavebních činností. (Navia a kol., 2005)

#### 6.2.8 Polymer – upravená písčito-bentonitová směs

V lokalitách, kde není k dispozici dostatek vhodných zemin k vytvoření minerálního těsnění lze vyrobit vhodnou těsnící vrstvu úpravou písku. Patentovaná je například hmota vyvinutá v Holandsku s názvem Trisoplast: směs písku, bentonitu a zvláštního polymeru s tloušťkou 7 cm (ekvivalentní 50 cm vrstvě hlíny). Výhodou je použití i na velmi strmé svahy (Kudrna a Škopek, 2003).

Trisoplast je obchodní název přesně definované směsi písku (89,1 %hm.), bentonitu ( $\geq 10,7$  %hm.) a speciálního polymeru ( $\geq 0,2$  %hm.). Písčito-bentonitová směs má dobrou těsnící vlastnost, která spolu s dalšími geotechnickými vlastnostmi je značně upravená přísadou polymeru. Syntetické polymery se používají už od 50. let 20. století jako půdní kypřidlo nebo půdní „upravovač“. V té době půdní upravování polymery selhávalo díky vysokým nákladům, mezitím se však cena syntetických polymerů snížila. V roce 1992 byl Trisoplast úspěšně představen na nizozemském trhu a stal se nejčastěji



používaným materiálem pro minerální vrstvy. Trisoplast s tloušťkou 10 cm může být doporučen jako alternativa tradičního CCL.

Syntetickou přísadou je polymer s vysokou molekulovou hmotností, hydrofilní a gelové konzistence. Přísada způsobuje vnitřní kohezi v písčito-bentonitové směsi. Taková směs je daleko méně citlivá na vysychání či prorůstání kořeny a vydrží o hodně větší deformace než CCL. Trisoplast je odolný vůči biologické degradaci a za normálních podmínek i chemické. Ale vysoká molekulová hmotnost polymeru je citlivá na degradaci mechanickým tlakem.

Minimální tloušťka zemního těsnění je 60 cm, ale bentonitem upravené zeminy je pouze 30 cm. Menší tloušťka vrstvy je lepší v případě rozdílného sedání odpadu (Bagchi, 2004).

## 7 SKLÁDKOVÁNÍ V ZAHRANIČÍ

Zkušenosti se sousedními Němci ukazují, že i ve vyspělých zemích je třeba likvidovat odpad skládkováním. V Německu, Rakousku a ve Švýcarsku je dnes zakázáno ukládat na skládky nezpracovaný odpad. Na skládky se tam ukládá až popel ze spaloven či stabilní zbytky mechanicko-biologického čištění ([www.euractiv.cz](http://www.euractiv.cz)).

### 7.1 Spolková republika Německo

V Německu si brzy uvědomili skutečnost, že ukládání odpadů na skládky vede k narušení krajiny a k různým haváriím, takže již na začátku sedmdesátých let přijali řadu legislativních a technických opatření k eliminaci negativních vlivů skládkování. Jedním z prvních opatření byl spolkový zákon o odstraňování odpadů z roku 1972. V roce 1986 přijalo Německo zákon o hospodaření s odpadem, kde se zdůrazňovala nutnost zabránit vzniku odpadů. Další předpisy se pak zabývaly zejména, jak co nejlépe izolovat ukládaný materiál od okolí (René, 1992). Nařízením o obalech se docílilo, že výrobci a obchodníci mají zákonnou zodpovědnost za své výrobky a to i po ukončení jejich životnosti. Dále předpisy rozlišují při spalování odpad pro recyklaci a odpad pro zneškodnění (Stříbrná, 1997).

Podle směrnice o skládkování odpadů (Abfallablage Rungsverordnung - AbfAbIV) nesmějí být od 1. 6. 2005 v Německu ukládány na skládky odpady, které nespĺňují kritéria uvedená v Příloze č. 1 této směrnice. Organický podíl v sušině ukládané hmoty musí být menší než 3%, což v podstatě znamená zákaz ukládání směsného komunálního odpadu do skládky. Odpad musí být před uložením na skládku upraven (Vyšejnová, 2006).

Do 16. července 2009, kdy vstoupila v platnost „Směrnice o zjednodušení legislativy ke skládkování“, byly předpisy upravující oblast skládkování rozděleny do šesti paralelních předpisů, které mnohonásobně jeden na druhého odkazují, jsou těžko srozumitelné a někdy špatně interpretovatelné. Nová směrnice má zajistit větší flexibilitu pro přizpůsobení jednotlivých řešení tam, kde se to nabízí a kde se to zdá být obhajitelné (Butz, 2009).

Dosud se obvykle pro minerální těsnění používal materiál s následovnými technickými vlastnostmi:

- minimální tloušťka 0,5 m
- podíl částic menších než 2  $\mu\text{m}$ :  $\geq 20$  %hm.
- Podíl jílové zeminy:  $\geq 10$  %hm.
- Organická hmota:  $\leq 5$  %hm.
- Podíl karbonátu:  $\leq 15$  %hm.
- Stupeň zhutnění:  $D_{pr} > 95$  %
- $K_f \leq 5 \cdot 10^{-9}$  m/s (Pflaumann a Waltereit, 2009).

Se vstupením v platnosti nové směrnice v roce 2009 byla pro těsnicí systém nastoupena nová cesta. Už byly popsány pouze okrajové podmínky, které musí být splněny a ne normativně dané parametry. Tím byly možné nejrůznější kombinace z rozdílných těsnících komponent. Otevřené je dosud (stav září 2009), která instituce stanovuje spolkově jednotné standardy kvality a jak mají být zajištěny. V nové směrnici je požadováno např.:

- Zjištění těsnosti a plasticity
- Odolnost proti hydraulickému působení (eroze, sufoze)
- Odolnost proti chemickým a biologickým vlivům
- Odolnost proti mechanické síle, atmosférickým vlivům
- Bezpečná, funkčnost zachovávající a kvalitu střežící výroba, jakož i vestavba těsnících komponent
- U zadaného úkolu dodržení míry průtoku
- Složení materiálu minerálního těsnění a technika vestavby (Pflaumann a Waltereit, 2009).

V Příloze 1 Článku 1 této směrnice jsou sepsány požadavky na lokalitu skládky, geologickou bariéru a těsnicí systém. Ustanovení Přílohy 1 („Půda a těsnění“) objasňuje, že pro výběr lokality skládky jsou nejdůležitější půdní vlastnosti. Pro jednotlivé třídy skládky se stanovuje počet komponent těsnění a nezbytné výkonnosti. Materiály, tloušťky a kombinace komponent jsou přenechány plánujícím inženýrům a povolovacím úřadům (Butz, 2009).

Toto platí hlavně pro svrchní těsnění. Pro těsnění na bázi se zůstává u osvědčených kombinací s minerálními komponentami s minimální mocností 50 cm. Ačkoli je „Směrnice o zjednodušení legislativy ke skládkování“ v platnosti pár měsíců, pracuje Ministerstvo životního prostředí již na

nověle. Příčinnou pro to jsou pochyby komise Evropské Unie o přípustných postupech pro vrstvy pásů z umělé hmoty (Butz, 2009).

Ukončení skládek se děje s cílem inovačního zdokonalování alternativního druhu těsnění. V Německu se zřizují zkušební plochy k testování a demonstraci svrchního těsnění. Jako těsnicí vrstva se použily zbytky ze spalování nejrůznějšími termickými procesy, zeminy ze sanací, recyklovatelná stavební suť či slévárenský písek. Dále se testovaly bahnitě materiály jako například sedimenty z vodních naplavenin nebo kaly z úpraven odpadních vod. Potom přišla tato směs do míchačky, kde se přidává pojivo a voda k dosažení potřebné konzistence. Konečný těsnicí materiál se transportuje k místu zabudování a tam se zahuštěný instaluje. Pro „hydrologickou vrstvu“ (rekultivační vrstva) se používaly v první řadě zeminy ze sanací a zeminy z čističek společně s různými komposty a bahny. V míchačce dojde k homogenizaci a potom se odvezly na určené místo, kde se zabudovaly s co možná minimálním zhutněním (Rötschke a kol., 2009).

U vsazených rekultivačních směsí pro těsnicí systém na bázi se jedná o trojný látkový systém sestávající se z půdy, splaškového kalu a filtrovaného popela z hnědého uhlí, které je význačné zpevňovací a stabilizační vlastností a zachycuje škodlivé látky uvnitř struktury. Vliv počasí na dokončení ve srovnání s jílovým těsněním není významný. Také po delším suchu nebyly upozorovány na nezakryté těsnicí vrstvě rekultivační směsi žádné praskliny (Rötschke a kol., 2009).

Po přípravě určitého množství se vždy kontrolovaly půdně-mechanické vlastnosti (např. koeficient filtrace, hustota). Pomocí výkopů až na těsnicí vrstvu se zkoumaly materiálové vlastnosti. Chování propustnosti těsnicí a rekultivační vrstvy se zkoumalo takzvaným fluidním sběračem. Rekultivační vrstva je nad těsnicí vrstvou místo druhé těsnicí komponenty a tím pádem není potřeba vybudovat nad těsnicí vrstvou drenážní vrstvu (Rötschke a kol., 2009).

Prosazení této možnosti představuje přenos z demonstračních polí na reálné použití. Aby se dosáhlo cílu inovačního využití lokalit skládek, musí se prosadit vrchní skryvky, které zaručují ochranu životního prostředí, jsou místně vhodné, cenově výhodné, vyrobitelné, dlouhodobě účinné a následná péče musí být lehce proveditelná (Rötschke a kol., 2009).

Průzkumy z minulosti nejsou nyní shodné s nově platnými požadavky, takže je asi nutné provést nové. Při kombinaci různých systémů je nutno vzít navíc v úvahu, že oba těsnicí elementy musí reagovat na škodlivé účinky tak rozdílně, že způsobí vyrovnání chyb. Dvojitě instalované umělé pásy nebo bentonitové matrace toto nezaručují (Pflaumann a Waltereit, 2009).

## 7.2 Dánsko

Plánovitě řízení odpadového hospodářství v Dánsku bylo zahájeno až v roce 1985. Úkolem je recyklovat 50% veškerého odpadu. Za sběr a nakládání s komerčním a domovním odpadem jsou zodpovědné místní úřady. Zneškodňování živnostenského odpadu provádějí většinou soukromé firmy (Stříbrná, 1997).

### 7.3 Itálie

Pro Itálii bylo charakteristické velké množství nepovolených skládek a ilegální vývoz odpadu ze severu do chudších jižních oblastí s extrémně nízkým stupněm recyklace. Od roku 1997 bylo povoleno spalování odpadu, které je spojeno s využitím energie. V témže roce musí být zneškodňování komunálního odpadu provedeno v původním regionu. To znamená, že není povolen převoz. Je-li dané místo znečištěno při nakládání s odpadem, musí znečišťovatel i přes neúmyslné znečištění hradit náklady na očistu (Stříbrná, 1997). Příkladem může být městská metropole Neapol, která se potýkala s „haldou odpadků“ v ulicích města, protože většinu firem na odvoz a zpracování odpadů tam vlastní jedna firma, která tak brání výstavbě nových environmentálně příznivějším zařízením na likvidaci odpadu kvůli eventuelním ztrátám zisků ([www.euractiv.sk](http://www.euractiv.sk)).

## 8 ZÁVĚR

Pro zakrývání skládek je k dispozici dostatečné množství postupů. Volba a realizace vhodného způsobu je však ovlivněna řadou aspektů. Hlavními požadavky jsou dlouhodobá funkční spolehlivost a hospodárnost postupu. Současná stavební praxe v ČR však preferuje minerální těsnění, jehož předpokladem je výskyt vhodného materiálu v blízkosti skládky. Pokud tomu tak není, dochází většinou k instalaci nákladné HDPE fólie, přičemž by se mohla použít jiná vhodná stavební surovina z té lokality. Příkladem může být Chile, kde si uvědomili, že vložením investic do sice nákladného, ale nadějného, výzkumu můžou v budoucnu další finance ušetřit využitím levnější varianty zakrytí.

V Německu je nejčastějším způsobem zakrytí skládek Trisoplastem. Díky němu dochází ke zmenšení tloušťky těsnění a tím i nákladů.

Problémem je odpadové hospodářství v chudších oblastech světa, kde je nedostatek materiálu a financí na těsnění a vůbec řádné a bezpečné vybudování skládky. Spíše se tam snad ani skládky nebudují. Odpadky se odhazují do přirozených depresí a maximálně zavezou hlínou. V aridních a semiaridních oblastech se využívají jako alternativní těsnění většinou kapilární bariéra.

Ačkoliv jsou finance velice důležitým aspektem při výběru způsobu skládkování, neměly by být jediným kritériem pro rozhodování o způsobu těsnění. V praxi se tak ovšem z pochopitelných důvodů děje.

Již v okamžiku založení skládky musíme vědět, „co s ní provést po jejím naplnění“. Uzavření, rekultivace a následný monitoring vyžaduje hodně financí. Ty se získají z tzv. finanční rezervy, která musí být dle příslušné vyhlášky povinně založena. Otázkou je, jak moc důsledně se toto dodržuje a jestli se to nějakým způsobem neporušuje.

Skládky nemusí být jen „nutným zlem“. Pokud se na problém podíváme z toho úhlu pohledu, že díky správně uzavřené skládce mohou v jejím okolí často vznikat lesoparky a odpočinkové zóny, pochopíme, že skládka a následná rekultivace lokality je kupříkladu prospěchu obyvatel. Taková rekultivace je

ovšem finančně nákladná a proto o její využitelnosti musejí být přesvědčeny i úřady a investoři, kteří poskytují peníze na projekty tohoto typu.

U skládkování komunálního odpadu již došlo ke snížení objemu odpadů. Díky zavedení přísnější legislativy se musí zvýšit podíl tříděného materiálu při zneškodňování odpadu a následné využití některých složek, zneškodňování ve spalovnách, či jiný druh využití odpadu. Je to pro naši civilizaci velmi podstatné, protože vhodných míst k vybudování skládek ubývá.

## POUŽITÁ LITERATURA

- Altman V., Růžička M. (1996): *Technologie a technika skládkového hospodářství*.-Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava, 82 str., Ostrava.
- Bagchi A. (2004): *Design of landfills and integrated solid waste management*.-Willey, 696 str., Hoboken.
- Baslík R. (1999): *Geosyntetika jako ochranný a těsnicí prvek (5.část)*.-Geotechnika 1/1999, str. 18-20.
- Bish F., Guthrie G.D. (1994): *Clays and Zeolites. Health Effects of Mineral Dusts*.-Rev. Mineral 28, str. 168-184.
- Butz W. (2009): *Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts*.- Deponie-workshop Zittau-Liberec 2009, Hochschule Zittau/Goerlitz, str.1-5, Zittau 2009
- Drtina J. (2000): *Inženýrskogeologické problémy skládkování odpadů při navrhování, výstavbě, uzavírání a rekultivaci skládek*.-UK Praha, Přírodovědecká fakulta, 25 str.,1 příl., Praha (bakalářská práce).
- Faltus M. (1993): *Kompozitní těsnění skládek z fólií a vhodné zeminy*.-Odpad 7-8/1993, str. 24-25.
- Galvão T.C.D.B, Kaya A., Ören A.H., Yükselen Y. (2008): *Geomechanics of landfills-Innovative Technology for Liners*.-Soil and Sedim. Contam. 17(4), str. 411-424.
- Grim R.E. (1968): *Clay Mineralogy*.-McGraw Hill, 596 str., New York.
- Jurník A. (1994): *Ekologické skládky domovního a průmyslového odpadu: Výstavba, provoz, bezpečnost*.-Alda, 179 str., Olomouc.
- Korostenský A. (1992a): *Využití plošných těsnění na bázi vysokohustotního polyetylenu pro ekologické projekty*.-Odpady 5/1992, str. 8-10.
- Korostenský A. (1992b): *Technologické části skládek odpadů*.-Odpady 5/1992, str. 23-26
- Kořán P. (1995): *Rozbor mechanicko-fyzikálních vlastností těsnících materiálů skládek TKO*.-UK Praha, Přírodovědecká fakulta, 32 str., Praha (bakalářská práce).
- Kropáček V. (1993): *Nová těsnění pro staré skládky*.-Odpad 6/1993, str. 20-21.
- Kudrna Z., Škopek J. (2003): *Nové způsoby zakrývání skládek TKO*.-Geotechnika 4/2003, str. 12-15.
- Mock J., Hude von der M., Jelinek D. (1992): *Kapillardichtungen für Deponienoberflächenabdichtungssysteme-Realisierungsmöglichkeiten*. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd.47.-Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Morch V. (1992): *Požadavky vyplývající ze zákonné úpravy hospodaření s odpady na skládce*.-Odpady 2/1992, str. 25-28.

- Navia R., Hafner G., Raber G., Lorber K.E., Schöffman E., Vortisch W. (2005): *The use of volcanic soil as mineral landfill liner – I. Physicochemical characterization and comparison with zeolites.*- Waste Manag. and Res. 23(3), str. 249-259.
- Pašek J., Faltus M. (1993): *Poznámky k využití Bentofixu při těsnění skládek.*-Odpad 9-10/1993, str. 37.
- Pašek J., Škopek J. (1993): *K některým otázkám geologicko-průzkumných prací pro skládky odpadů.*- Odpad 7-8/1993, str. 21-22.
- Pflaumann U., Waltereit D. (2009): *Die neue Deponieverordnung: Herausforderungen an Dichtungsbaustoffe aus Sicht eines Herstellers.*- Deponie-workshop Zittau-Liberec 2009, Hochschule Zittau/Goerlitz, str.155-164, Zittau 2009
- Pícha P., Kudrna Z. (2005): *Vliv různých způsobů separace vrstev kapilární bariéry na její těsnící vlastnosti při zakrývání skládek.*-Geotechnika 2/2005, str. 22-28.
- Radlinger P. (1998): *Geologische Barriere und mineralische Abdichtung in der Deponietechnik.* Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd.98.- Erich Schmidt Verlag, 262 str., Berlin.
- René M. (1992): *Výstavba a provoz skládek v Německu.*-Odpady 5/1992, str. 28-29.
- Rötschke H., Basmer R., Einecke M. (2009): *Der Weg eines alternativen Dichtungssystems aus Deponieersatzbaustoffen vom EU-Demonstrationsvorhaben zur Anwendung.*- Deponie-workshop Zittau-Liberec 2009, Hochschule Zittau/Goerlitz, str.141-153, Zittau 2009
- Sameš R. (1993): *Geosyntetické materiály a jejich využití.*-Odpad 9-10/1993, str. 41-43.
- Simon F.G., Müller W.W. (2004): *Standard and alternative landfill capping design in Germany.*-Envir. Sci. and Policy 7(4), str. 277-290.
- Straka F. (1993): *Vliv vlhkosti na tvorbu bioplynu ve skládkách TKO a zakrývání ukončených skládek.*- Odpad 7-8/1993, str. 20.
- Stříbrná E. (1997): *Odpadové hospodářství v některých zemích EU.*-Odpady 8/1997, str. 20-23.
- Škopek J. (1996): *Minerální těsnění skládek v zimě.*-Odpady 5/1996, str. 22.
- Tuncan A., Tuncan M., Koyuncu H., Guney Y. (2003): *Use of natural zeolites as a landfill liner.*- Waste Manag. and Res. 21(1), str. 54-61.
- Vonpein R.T., Lewis S.P. (1991): *Composite Lining System Design Issues.*-Geotext. and Geomem. 10 (5-6), str. 507-513.
- Vyštejnová J. (2006): *Německá směrnice komplikuje ukládání odpadu na skládky.*-Odpady 3/2006, str. 25.
- CENIA (2009): *Statistická ročenka životního prostředí ČR 2008.*
- ČSN 83 8030 (2002): *Skládkování odpadů-Základní podmínky pro navrhování a výstavbu skládek.*
- ČSN 83 8032 (2002): *Skládkování odpadů-Těsnění skládek.*

ČSN 83 8035 (2002): Skládkování odpadů-Uzavírání a rekultivace skládek.

Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 381/2001 Sb. katalog odpadů.

Vyhláška Ministerstva životního prostředí č.383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady.

Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů.

Zákon č. 7/2005 Sb. změna zákona o odpadech.

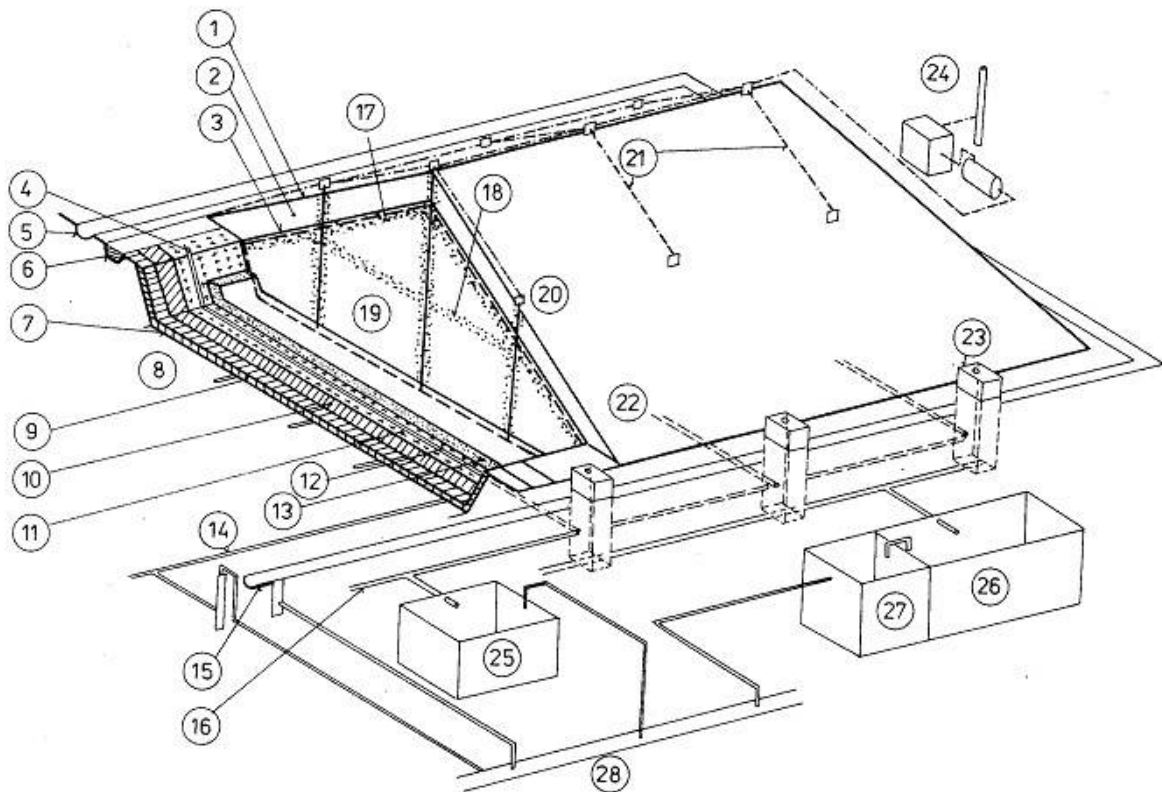
[www.euractiv.cz/zivotni-prostredi/clanek/vznikne-zvlastni-agentura-ktera-by-dohlizela-na-implementation-smernice-o-skladkach-006292](http://www.euractiv.cz/zivotni-prostredi/clanek/vznikne-zvlastni-agentura-ktera-by-dohlizela-na-implementation-smernice-o-skladkach-006292); 16.2.2010

[www.euractiv.sk/zivotne-prostredie/clanok/neapol-zasypany-odpadom](http://www.euractiv.sk/zivotne-prostredie/clanok/neapol-zasypany-odpadom); 16.2.2010

[www.nationmaster.com/graph/env\\_pol\\_mun\\_was\\_per\\_cap-pollution-municipal-waste-per-capita](http://www.nationmaster.com/graph/env_pol_mun_was_per_cap-pollution-municipal-waste-per-capita);  
12.2.2010



## PŘÍLOHA



### Vysvětlivky ke schématu:

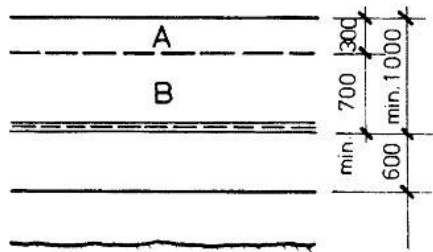
1 – Ozelenění povrchu tělesa skládky, 2 – Zakrytí skládky orníci tloušťky 1 metr, 3 – Těsnění skládky ve složení – geotextilie – těsnící pásy PEHD – geotextilie, 4 – Čistící průstup drenážních rour, 5 – Přikop dešťové vody, 6 – Kotvící příkop těsnění, 7 – Geotextilie a PEHD, 8 – Přirozené podloží skládky, 9 – Minerální těsnění, 10 – Těsnění pásy PEHD, 11 – Geotextilie, 12 – Drenážní potrubí, 13 – Drenážní štěrky, 14 – Stavební drenáž a sledování (monitorování), 15 – Přikop dešťové vody, 16 – Potrubí dešťové vody, 17 – Drenážní potrubí plynového systému, 18 – Štěrková plynová drenáž, 19 – Odpad uložený ve skládce, 20 – Plynové čerpací sondy s čerpacími hlavicemi, 21 – Síť sběrného plynového potrubí, 22 – Drenážní potrubí skládkové vody, 23 – Sběrné a kontrolní šachty skládkové a dešťové vody, 24 – Čerpání a zpracování skládkového plynu, 25 – Bazén dešťové vody, 26 – Bazén skládkové vody, 27 – Čištění skládkové vody, 28 – Kanalizace čisté vody.

Příl.č.1: Konstrukce skládky TKO a systémů vody a plynu (Korostenský, 1992)

## Příklady sestav uzavíracích vrstev skládky

### ZEMNÍ TĚSNĚNÍ

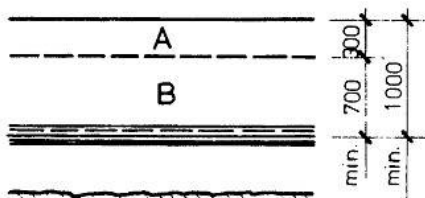
Rozměry v mm



Sestavy vrstev

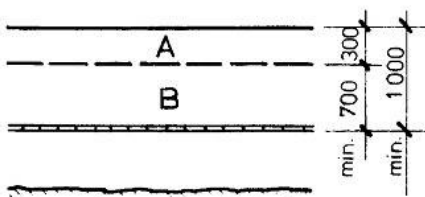
Rekultivační vrstvy  
Filtrační geotextilie  
Těsnicí vrstva  
Vyrovňovací vrstva  
Povrch skládky

### TĚSNĚNÍ FÓLIÍ



Rekultivační vrstvy  
Ochranná geotextilie  
Fólie  
(Ochranná geotextilie)  
Vyrovňovací vrstva  
Povrch skládky

### TĚSNĚNÍ BENTONITOVOU MATRACÍ



Rekultivační vrstvy  
Bentonitové matrace  
Vyrovňovací vrstva  
Povrch skládky

- A Úrodná zemina nebo zemina zúrodnění schopná  
B Zemina

Příl.č.2: Příklady sestav uzavíracích vrstev skládky dle normy ČSN 83 8035

**Tab. A3.1** Produkce odpadů z hlediska původu podle Odvětvové klasifikace ekonomických činností v územním členění na kraje, 2003–2007  
*Production of waste according to origin in accordance with Branch Classification of Economic Activities by regions, 2003–2007*

Území, kraj Area, region	Odpad Waste	2003		2004		2005		2006		2007 <sup>1)</sup>	
		Celkem Total	z toho: ne- bezpečné of which: Hazardous waste	Celkem Total	z toho: ne- bezpečné of which: Hazardous waste	Celkem Total	z toho: ne- bezpečné of which: Hazardous waste	Celkem Total	z toho: ne- bezpečné of which: Hazardous waste	Celkem Total	z toho: ne- bezpečné of which: Hazardous waste
		tis. t thous. t									
Ceská republika Czech Republic	odpad ze zemědělství a lesnictví Agriculture and forestry waste	5 281	17	3 876	16	2 180	14	1 304	13	782	0
	odpad z dolování a těžby Mining and quarrying waste	689	23	685	23	612	31	459	24	107	2
	průmyslový odpad/ Industrial waste	7 938	904	7 647	771	5 794	654	6 575	655	6 418	1 128
	odpad z úpravy a rozvodu vody Waste from water treatment and distribution	755	1	669	0	1 085	2	413	1	485	33
	stavební a demoliční odpad Construction and demolition waste	6 632	88	9 179	216	8 952	207	8 684	168	15 196	493
	odpad z energetiky (mimo radioaktivního) Waste from energy prod. (excl. radioact.)	6 602	14	5 305	25	1 884	21	2 047	31	1 900	10
	odpad z čištění města Waste from sanitation and similar activities	257	123	393	63	280	123	1 369	342	120	0
	komunální odpad/Municipal waste	4 446	27	4 651	19	4 439	25	3 979	18	4 130	16
	jiný odpad/Other waste	3 487	578	6 299	560	4 576	549	4 605	545	2 316	51
	<b>CELKEM/TOTAL</b>	<b>36 087</b>	<b>1 775</b>	<b>38 704</b>	<b>1 693</b>	<b>29 802</b>	<b>1 626</b>	<b>28 066</b>	<b>1 455</b>	<b>31 453</b>	<b>1 733</b>

Příl.č.3: Produkce odpadů z hlediska původu podle odvětvové klasifikace ekonomických činností v územním členění na kraje v letech 2003-2007 (CENIA, 2009)

**Tab. A3.15** Zařízení pro úpravu, využívání a odstraňování odpadů k 31. 12. 2007  
*Facilities for waste treatment, utilization and disposal as of 31 December 2007*

Zařízení k úpravě, využití a odstraňování odpadů	Česká republika Czech Republic		Facilities for waste treatment, utilization and disposal
	Počet Number	Kapacita [tr <sup>-1</sup> ] Capacity [t p.a.]	
Zařízení na energetické využívání odpadů	3	646 000	Equipment for energy-production use of wastes
Zařízení na materiálové využívání odpadů	1089	19 995 249	Equipment for material use of wastes
Z toho: regenerace (kyselin, zásad, rozpuštědel apod.)	14	46 483	Of which: recovery (acids, alkalis, solvents, etc.)
recyklace, získávání složek	332	8 426 293	recycling, recovery of components
biologické procesy	119	878 334	biological processes
Zařízení na předúpravu odpadů	472	3 553 988	Equipment for pretreatment of waste
Zařízení na biologickou úpravu odpadů	51	44 277 009	Equipment for biological treatment of waste
Zařízení na fyzikálně-chemickou úpravu odpadů	102	2 517 823	Equipment for physical-chemical treatment of waste
Kompostárny	87	86 817	Composting plants
Zařízení na biologickou dekontaminaci	34	809 533	Equipment for biological decontamination
Spalovny	31	85 958	Incinerators
	Počet Number	Kapacita projektovaná [m <sup>3</sup> ] Planned capacity [m <sup>3</sup> ]	
Skládky celkem	283	137 175 512	Landfills total
Z toho: skupina S – IO	64	70 313 360	Of which: Group S – IO
skupina S – OO	201	53 974 250	Group S – OO
skupina S – NO	35	12 887 902	Group S – NO
odkaliště	10	45 067 294	Sludge beds

Zdroj: CENIA  
 Source: CENIA

Příl.č.4: Zařízení pro úpravu, využívání a odstraňování odpadů do roku 2007 (CENIA, 2009)

Tab. A3.6 Způsoby nakládání s odpady v r. 2007  
Means of waste management in 2007

Ukazatel	Celkem Total	v tom odpady Waste		Indicator
		nebezpečné Hazardous	ostatní Non-hazardous	
t				
<b>Nakládání s odpady celkem</b>	<b>28 450 879</b>	<b>1 786 024</b>	<b>26 664 855</b>	<b>Waste management, total</b>
<b>využívání celkem (R kódy)</b>	<b>8 020 966</b>	<b>439 777</b>	<b>7 581 189</b>	<b>Waste recovery, total (R codes)</b>
v tom:				
R1 využití jako paliva nebo jiným způsobem k výrobě energie	648 844	64 942	583 901	Utilised as fuel or in some other manner to produce energy
R2-R6 recyklace, regenerace	5 478 557	254 402	5 224 156	Recycling, recovery
R7-R11 ostatní způsoby využívání odpadů	622 109	7 066	615 043	Other recovery operations
R12 předúprava odpadů před jejich využitím	1 239 259	113 358	1 125 901	Treatment of waste prior to recovery
R13 skladování materiálů před jejich využitím	32 197	9	32 188	Storage of waste pending any use
<b>odstraňování celkem (D kódy)</b>	<b>6 042 677</b>	<b>788 889</b>	<b>5 253 788</b>	<b>Waste disposal, total (D codes)</b>
v tom:				
D1-D5 skládkování a ostatní způsoby ukládání odpadů v úrovni nebo pod úrovní terénu	4 834 376	76 094	4 758 282	Landfilling and other means of depositing waste on or under ground
D6-D7 vypouštění do vodních těles	-	-	-	Discharge into bodies of water
D8 biologická úprava	247 572	175 778	71 794	Biological treatment
D9 fyzikálně-chemická úprava	750 812	428 930	321 882	Physical-chemical treatment
D10 spalování	59 275	47 554	11 721	Combustion
D13-D14 úprava odpadů před jejich odstraněním	132 686	49 762	82 924	Treatment of waste prior to disposal
D15 skladování materiálů před jejich odstraněním	10 196	i.d.	i.d.	Storage of waste pending any disposal operations

Tab. A3.6, pokračování/continued

Ukazatel	Celkem Total	v tom odpady Waste		Indicator
		nebezpečné Hazardous	ostatní Non-hazardous	
t				
<b>ostatní způsoby celkem</b>	<b>14 387 235</b>	<b>557 358</b>	<b>13 829 877</b>	<b>Other means of management, total</b>
z toho:				
N1 využití odpadů na terénní úpravy	4 437 032	10 711	4 426 321	Use of waste for landscaping
N2 předání kalů ČOV k použití na zemědělské půdě	31 066	1)	1)	Transfer of waste-water treatment sludge for use on agricultural land
N5 zůstatek ve skladu k 31. 12.	4 983 813	264 218	4 719 595	Stored balance as of 31 December
N7 vývoz odpadu do členských zemí EU	1 577 934	1 992	1 575 942	Export of waste to EU member states
N17 vývoz odpadu do zemí mimo EU	1 530	-	1 530	Export of waste to non-EU countries
N8 předání odpadů, dílů pro opětovné použití	27 184	489	26 695	Provision of waste for reuse
N9 zpracování autovraku	32 058	21 559	10 499	Processing of unusable vehicles
N10 prodej odpadu jako suroviny	1 356 631	5 931	1 350 701	Sale of waste as a raw material
N11 využití odpadu na rekultivace skládek	667 247	26 210	641 037	Use of waste for land reclamation
N12 ukládání odpadů jako technologický materiál na zajištění skládky	929 371	131 488	797 883	Deposits of waste as material for securing landfills
N13 kompostování	242 356	1)	1)	Composting
N14 biologická dekontaminace	75 986	73 734	2 253	Biological decontamination
N18 zpracování elektroodpadů	25 026	20 972	4 054	Processing of electrical waste

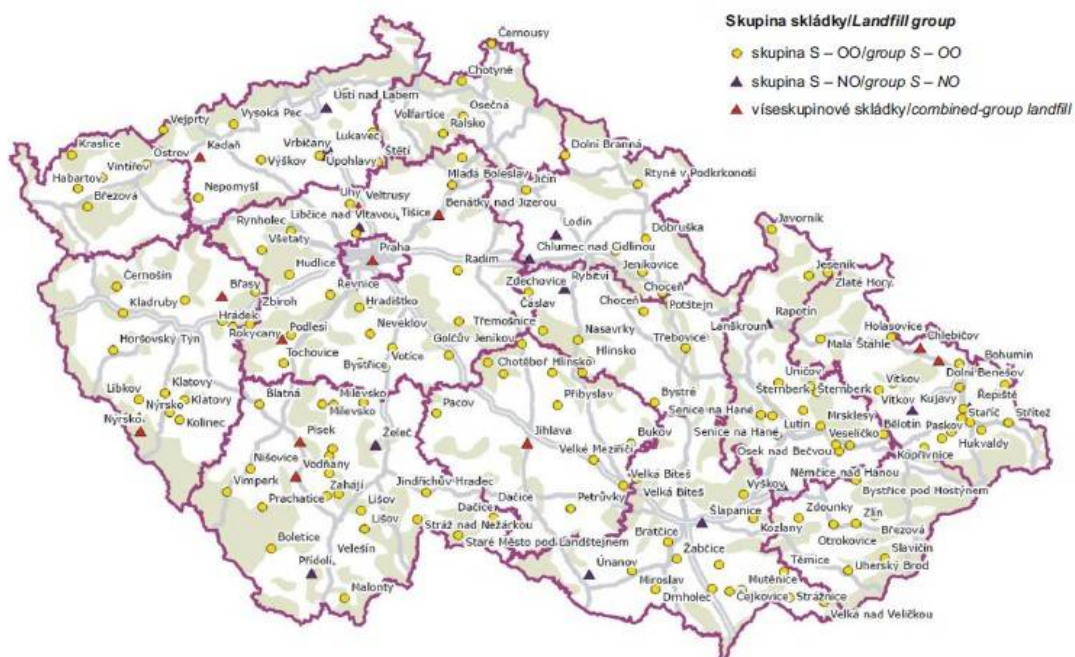
1) individuální data  
Individual data

Zdroj: ČSÚ  
Source: CSÚ

Příl.č.5: Způsoby nakládání s odpady v roce 2007 (CENIA, 2009)



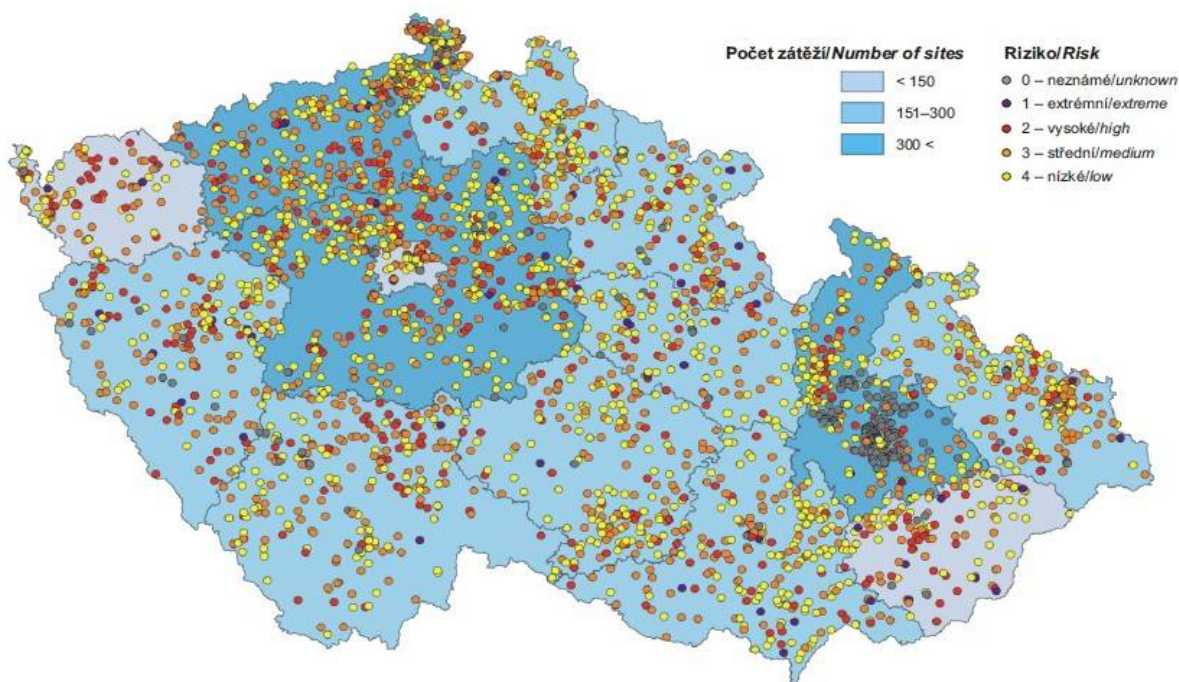
Obr. A3.2 Rozmístění skládek odpadů skupiny S – NO, S – OO a víceskupinové skládky v r. 2007  
 Location of landfills of group S – NO, S – OO and combined-group landfill in 2007



Zdroj: CENIA  
 Source: CENIA

Příl.č.6: Rozmístění skládek odpadů skupiny S-NO,S-OO a víceskupinové skládky v roce 2007 (CENIA, 2009)

Obr. A4.1 Rozmístění starých ekologických zátěží podle evidence MŽP v prvním pololetí r. 2008  
 The distribution of contaminated sites according to ME CR records in the 1<sup>st</sup> half of 2008



Zdroj: CENIA  
 Source: CENIA

Příl.č.7: Rozmístění starých ekolog. zátěží v první polovině roku 2008 (CENIA, 2009)