

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta,  
Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky

# **Analýza faktorů ovlivňující geotechnické parametry materiálu skládek TKO**

Analysis of the factors influencing the geotechnical material parameters of MSW landfills

Bakalářská práce

Václav Sedláček



Vedoucí bakalářské práce: Ing. Zdeněk Kudrna CSc.

Praha 2011

Prohlašuji, že jsem na své bakalářské práci pracoval samostatně a u všech převzatých údajů v této práci uvádím jejich autory spolu s veškerou použitou literaturou.

V Praze dne 26.8.2011

Děkuji svému školiteli panu Ing. Zdeňku Kudrnovi za ochotu a cenné informace při vypracování této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Geotechnické parametry materiálu skládek tuhého komunálního odpadu (dále TKO) jsou velmi variabilní. Tato práce zkoumá pomocí vědeckých článků, disertačních i jiných prací vlivy na tyto vlastnosti. Samotné zjišťování jednotlivých parametrů TKO je velmi náročné a většinou se provádí na speciálních přístrojích schopné změřit vlastnosti velkého objemu materiálu. Vliv na geotechnické parametry mají složení materiálu, vnější podmínky, zakrytí a izolace vlastní skládky, zda je nebo není prováděno odvodnění skládky. Zvlášť důležitým faktorem je probíhání degradačních procesů na biologické složce materiálu TKO. V tomto případě je důležitý čas a rychlost těchto procesů.

**Klíčová slova:** Tuhý komunální odpad, skládka TKO, Geotechnické parametry, vlivy, napětí,  $\sigma$ ,  $\tau$ ,  $\varphi$ , pružnost, hydraulika podzemní vody,  $k$ ,  $K$ , stlačitelnost, anizotropie, zrnitost, složení

## **Abstract**

Geotechnical parameters of material of Municipal Solid Waste (MSW) landfill are very variable.

This work searches by science researches the influences for these parameters. The identification of parameters is obviously difficult and needs special devices capable to measurement of big volume of material. Influence for geotechnical parameters have composing of MWS, climatic conditions, of the MSW landfill is cover or not, if has landfill isolation on base and on top or not or if is landfill drained.

Important factor is existence of biodegradation processions on landfill. There are important the velocity of biological component and time.

**Keywords:** Municipal solid waste, MSW landfill, geotechnical parameters, influence, stress,  $\sigma$ ,  $\tau$ ,  $\varphi$ , flexibility, hydraulics of underground water,  $k$ ,  $K$ , compressibility, anisotropy, fraction

# Obsah

<b>Úvod .....</b>	<b>strana 5</b>
<b>Materiál TKO obecně.....</b>	<b>strana 6</b>
Složení materiálu TKO.....	strana 6
Geotechnické parametry materiálu skládek TKO obecně.....	strana 7
Zrnitost materiálu TKO.....	strana 8
Hydraulické charakteristiky materiálu TKO.....	strana 9
Vlivy na smykové napětí a stabilitu materiálu TKO.....	strana 12
Pružnost .....	strana 18
Stlačitelnost a sedání materiálu TKO.....	strana 18
<b>Vliv rozhraní na mechanické vlastnosti .....</b>	<b>strana 19</b>
<b>Vliv degradačních procesů na geotechnické parametry.....</b>	<b>strana 20</b>
<b>Shrnutí poznatků.....</b>	<b>strana 22</b>
<b>Seznam literatury.....</b>	<b>strana 23</b>
<b>Seznam použitých tabulek a obrázků.....</b>	<b>strana 26</b>

## 1. Úvod

Materiál skládek tuhého komunálního odpadu (dále TKO) patří mezi nejvíce variabilní materiály vůbec. Podle zákona č. 185/2001 Sb. se jedná o *veškerý odpad vznikající na území obce činností fyzických osob, pro kterou nejsou právními předpisy stanovena zvláštní pravidla nebo omezení, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo osob oprávněných k podnikání. Komunálním odpadem se také rozumí odpad vznikající při čištění veřejných komunikací a prostranství, při údržbě veřejné zeleně včetně hřbitovů, (paragraf 4 písmeno c)* nebo o *odpad podobný komunálnímu odpadu - veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů (paragraf 4 písmeno d).* Přesné složení odpadu tedy není českou legislativou stanoveno. Při správném třídění odpadu na nebezpečný odpad, papír, plasty, sklo a bioodpad by do komunálního odpadu měly patřit kovový odpad a popel. Skutečný stav odpovídá možnostem lokace na třídění odpadu a ochotě obyvatel třídít odpad. Skutečné složení TKO je značně pestřejší: popel, papír, plasty, zbytky potravin, zahradní zbytky, smetky, textil, kovy, sklo, gumu atd. Geotechnické vlastnosti by se měly mezi jednotlivými skládkami TKO velmi lišit. Obecně ale existují makra na složení materiálu podle oblastí a životní úrovně obyvatel. Obecně platí čím více vyspělá oblast, tím více vytríděný materiál se vyváží na skládky TKO. Nejvíce se třídí odpad v Japonsku, dále se třídí velké množství odpadu v Evropě a v Severní Americe. Odpad se netřídí prakticky ve všech rozvojových zemích, ale například i v Izraeli.

Cílem této práce je ukázat závislost mezi složením skládek TKO a jejich parametry (tloušťka vrstvy odpadu, izolace, drénování). To vše má svou úlohu na velikosti parametrů materiálu TKO. Pomocí grafů a článků z odborných časopisů a konferencí se pokusím zjistit jak působí jednotliví činitelé, a nakolik se vzájemně ovlivňují.

## Materiál TKO obecně

### Složení materiálu skládek TKO

Zákon o odpadech (část pro TKO viz úvod) definuje velmi široké rozpětí podílů složek TKO. Složení TKO ve světě, které je uvedeno v tabulce 1, se většinou reguluje možností odstranění některých jeho součástí do stanovených kontejnerů nebo na vybraná místa. V USA se třídí na kovy, sklo, papír, plasty, zbytky jídla, dřevěný odpad a smetí. Právě poslední smetí je něco mezi ničím a vším, kde záleží, zda dotyčný člověk se rozhodne danou věc vyhodit do kontejneru na recyklaci nebo do popelnice a tím na skládku TKO. Prakticky se do TKO může dostat cokoliv. Netřídění odpadu není většinou postihováno, ale pouze doporučeno a velká část především rozvojových zemí tříděním odpadu z různých příčin neprovádí.

**Tabulka 1 Složení tuhého komunálního odpadu ve světě (rok 2009)<sup>1</sup>**

Druh odpadu	podíl v TKO
papír a lepenka	28
biologická složka	20.6
smetí	13.7
plasty	12.3
kovy	8.6
guma a textil	8.3
sklo	3.8
různé	3.5

Složení odpadu v USA přibližně odpovídá složení odpadu ve vyspělých státech. Procentuální změny ve složení jsou dány možností a ochotou obyvatel třídít materiál TKO a recyklovat.

Paradoxní situace je například v Izraeli, kde se netřídí TKO navzdory nutnosti prakticky jakékoliv suroviny dovážet. Ani trend zakrývat skládky do tohoto státu zatím nedorazil.

---

1-United States Environmental Protection Agency (EPA) -  
<http://www.epa.gov/osw/nonhaz/municipal/pubs/msw2009-fs.pdf>, revize 11.8.2011

V rozvojových zemích je složení TKO výrazně odlišné proti vyspělým státům. Jako příklad je uvedeno složení TKO v Číně ve srovnání s vybranými státy.

**Tabulka 2 Složení TKO ve světě a Číně<sup>2</sup>**

Classification District or country	Organic(%)					Inorganic(%)				
	kitchen remains	waste paper	plastics rubber	wooden textile	total	cinder	glass ceramics	metal	other	total
American	22	47	4.5		73.5	5	9	8	4	26
England	28	33	1.5	3.55	66.0	19	5	10		34
Japan	13.6	46	18.3		82.9	6.1			10.7	16.8
Germany	16	31	4	2	53.0	22	13	5.2	7	47.2
Shanghai	42.6	1.6	0.40	0.47	45.2	53.7	0.43	0.53		54.7
Beijing	50.9	4.2	0.61	1.16	56.2	42.2	0.92	0.80		43.9
Wuhan	26.5	2.3	0.31	0.74	29.9	68.0	0.85	0.17	1.04	70.1
Guangzhou	38.6	1.4			40.0	55			5.0	60.0

Tabulka 2 uvádí nejen velké rozpětí ve složení ve světě, ale přímo mezi čínskými velkoměsty v řádech desítek procent. Popel, který je ve vyspělých zemích akcesorickou složkou, má v Číně většinový podíl.

## Geotechnické parametry materiálu skládek TKO obecně

**Tabulka 3 Geotechnické parametry TKO v Číně<sup>3</sup>**

Právě atypickému složení odpadu v Číně se věnuje následující tabulka shrnující geotechnické parametry z předchozích čínských měst.

Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Moisture content (%)	Porosity (%)	Permeability (cm/s)	Water Capacity (%)	Shear strength		Compression coefficient a <sub>1-2</sub>
					$\sigma < 30 \text{ kPa}$	$\sigma > 30 \text{ kPa}$	
9.3~12.4	20~35	40~52	10 <sup>-3</sup>	22.4~55	C = 24 kPa =0~5°	C=0~8kPa =33°	0.17~0.36

<sup>2</sup> Xiaobo Xiong, Guoqing Gui, Bin Shi, Baojun Wang, Mincai Jia, Qihua Zhao, a Chunlei Li – *Evaluation and discussion of liner system in sanitary landfills*, strana 191, <http://lib.hpu.edu.cn/>, revize 12.8.2011

<sup>3</sup> Xiaobo Xiong, Guoqing Gui, Bin Shi, Baojun Wang, Mincai Jia, Qihua Zhao, a Chunlei Li – *Evaluation and discussion of liner system in sanitary landfills*, strana 191, <http://lib.hpu.edu.cn/>, revize 12.8.2011

Za povšimnutí stojí relativně vysoká hodnota propustnosti na TKO (v tabulce 3). Vysoká hodnota propustnosti odpovídá vysokému podílu popela v TKO.

Arvid O. Ladva se spolupracovníky měřili objemovou hmotnost napříč Kanadou, kde objemová hmotnost kolísala mezi 6.8 kN/m<sup>3</sup> a 16.2 kN/m<sup>3</sup>. Předpokládají však, že hodnoty vyšší než 14 kN/m<sup>3</sup> jsou vzniklé chybou v měření danou nepravidelnými tvary a nehomogenitou vzorků.<sup>4</sup>

Kavazanjian se spolupracovníky měřili v roce 1995 objemové hmotnosti na skládce TKO Puente Hills (nedaleko Los Angeles) pomocí seismických vln. Změřilo se, že objemové hmotnosti se s hloubkou nemění skokově, ale prakticky rovnoměrně. Zjistili objemové hmotnosti od 6.5 kN/m<sup>3</sup> na povrchu skládky až do 13 kN/m<sup>3</sup> v hloubce 90 metrů<sup>5</sup>

## Zrnitost materiálu TKO

Velikost zrn materiálu je velmi různorodá. Nejmenší velikost má jílovitá frakce, největší zrna mohou klidně představovat vyřazené elektrospotřebiče nebo stroje (v extrémním případě). Následující graf porovnává velikost frakcí zrn mezi materiálem TKO ze skládky Sri Hartamas Landfill, Malajsie (SHL), a půdou z lokality Bukit Chuping (BK). Tabulka 4 ukazuje, kolik procent materiálu prošlo příslušným sítem.

---

<sup>4</sup> Landva, A.O., Valsangkar, A.J., and Pelkey, S.G (2000), *Lateral Earth Pressure at Rest and Compressibility of Municipal Solid Waste*, Canadian Geotechnical Journal, ročník 37, číslo 6, strany 1157-1165

<sup>5</sup> Kavazanjian, E. (1999), Seismic design of solid waste containment facilities, Proceedings of the 8th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C, <http://www.infomine.com/publications/docs/Kavazanjian1999.pdf> ,12.8.2011



**Tabulka 4** Porovnání zrnitosti materiálu TKO s přirozenou zeminou<sup>6</sup>

Síto	SHL 1	SHL 2	SHL 3	BK 1	BK 2	BK 3
2 mm	42,5 %	35 %	42,5%	42,5%	66,66 %	70%
1,18 mm	22,5 %	20%	22,5%	22,5 %	41,67 %	42,33%
0,6 mm	12,5%	12,5%	12,5%	7,5%	20%	21,67%
0,425 mm	10%	7,5%	7,5%	3,75%	5%	7,33%
0,3 mm	5%	2,5%	2,5%	1,75%	1,67%	4%
0,15 mm	2,5%	0	2,5%	0,25%	0	2,33%
0,063 mm	1%	0	2,5%	0	0	2,33%
Podsítná f.	0	0	2,5%	0	0	0
Balvanitá f.	57,5 %	65 %	57,5%	57,5 %	33,33 %	30%

Mimo složení ovlivňuje velikost zrn materiálu stlačením na skládce TKO. Stlačitelností se zabývá příslušná kapitola této práce.

### Hydraulické charakteristiky materiálu TKO

Hydraulické charakteristiky materiálu TKO nelze stanovit prostým výpočtem jako u zeminy. Je to dáno heterogenitou materiálu TKO, konkrétně rozdílnou zrnitostí. Některé materiály umožňují vysokou filtrační rychlost, jiné svých chováním připomínají jílovitou zeminu. Materiál TKO nelze také vypočítávat s předpokladem nasycenosti porů. Některé součásti materiálu TKO (hlavně textil a papír) mají vysokou nasákavost a mohou hydraulické charakteristiky krátkodobě zvýšit <sup>7</sup>(Capelo a DeCastro 2007). Capelo a DeCastro dále uvádějí, že v makropórech materiálu dochází i k turbulentnímu proudění. Následující tabulka uvádí změřené hodnoty hydraulické vodivosti v laboratoři.

---

<sup>6</sup> - Nur Irfah M. Pauzi, Husaini Omar a Zainuddin M. Yusoff - *Geotechnical properties of waste soil from open dumping area in Malaysia*, <http://www.ejge.com/2011/Ppr11.090/Ppr11.090alr.pdf>, revize 12.8.2011

<sup>7</sup> Capelo, J., and DeCastro, M. (2007), *Measuring Transient Water Flow in Unsaturated Municipal Solid Waste - A New Experimental Approach*, *Waste Management*, 27, 6, strany 811-819.

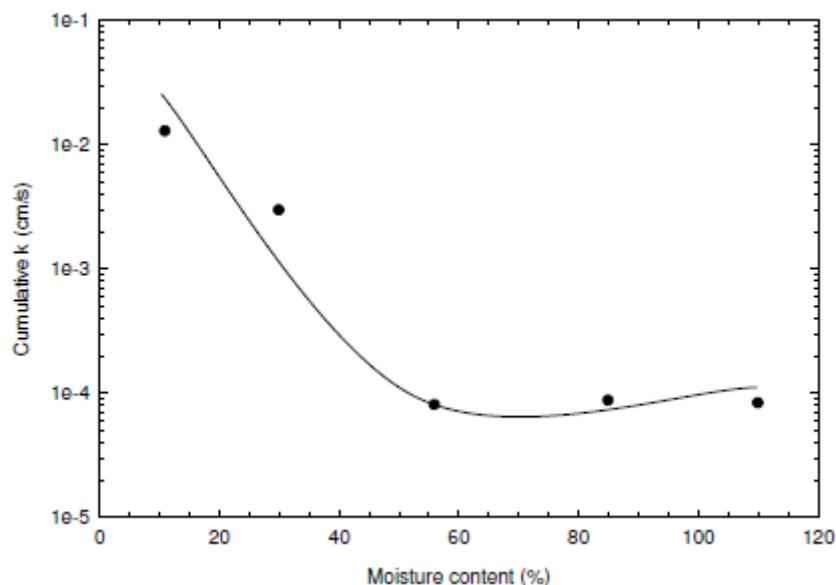
**Tabulka 5** Změna propustnosti materiálu TKO v závislosti na teplotě a vlhkosti odpadu<sup>8</sup>

Moisture content (%)	Incremental time (s)	Running time (s)	Flow (cm <sup>3</sup> /s)	Test type	Temperature (°C)	$k_{\text{incremental}}$ (cm/s)	$k_{\text{running}}$ (cm/s)
11%	1,595	1,595	8.57	constant	20.5	$1.36 \times 10^{-2}$	$1.36 \times 10^{-2}$
	1,946	3,541	8.18	constant	20.5	$1.30 \times 10^{-2}$	$1.32 \times 10^{-2}$
	1,620	5,161	7.39	constant	20.5	$1.17 \times 10^{-2}$	$1.28 \times 10^{-2}$
30%	1,800	1,800	1.62	constant	18.4	$2.72 \times 10^{-3}$	$2.72 \times 10^{-3}$
	1,816	3,616	1.95	constant	18.6	$3.26 \times 10^{-3}$	$2.98 \times 10^{-3}$
	1,805	5,421	1.88	constant	18.9	$3.11 \times 10^{-3}$	$3.01 \times 10^{-3}$
	1,910	7,331	1.67	constant	19.2	$2.74 \times 10^{-3}$	$2.92 \times 10^{-3}$
85%	5,280	5,280	0.280	constant	18.4	$4.70 \times 10^{-4}$	$4.70 \times 10^{-4}$
	4,500	9,780	0.148	constant	18.4	$2.49 \times 10^{-4}$	$3.68 \times 10^{-4}$
	3,600	13,380	0.123	constant	18.4	$2.06 \times 10^{-4}$	$3.25 \times 10^{-4}$
	18,000	31,380	0.0554	constant	18.4	$9.28 \times 10^{-5}$	$1.92 \times 10^{-4}$
	45,900	77,280	0.00893	constant	18.4	$1.50 \times 10^{-5}$	$8.67 \times 10^{-5}$
110%	8,820	8,820	0.181	constant	15.2	$3.31 \times 10^{-4}$	$3.31 \times 10^{-4}$
	7,200	16,020	0.375	constant	15.3	$6.84 \times 10^{-4}$	$4.89 \times 10^{-4}$
	7,320	23,340	0.489	constant	15.2	$8.97 \times 10^{-4}$	$6.18 \times 10^{-4}$
	39,600	62,940	0.173	constant	14.2	$3.26 \times 10^{-4}$	$4.41 \times 10^{-4}$
	7,200	70,140	1.01	constant	14.1	$1.90 \times 10^{-3}$	$5.92 \times 10^{-4}$
	7,200	77,340	1.05	constant	14.4	$1.96 \times 10^{-3}$	$7.15 \times 10^{-4}$
	7,200	84,540	1.08	constant	14.8	$2.01 \times 10^{-3}$	$8.17 \times 10^{-4}$
	9,000	93,540	0.891	constant	15.4	$1.62 \times 10^{-3}$	$8.82 \times 10^{-4}$
	53,280	146,820	0.157	constant	13.2	$3.05 \times 10^{-4}$	$7.09 \times 10^{-4}$
	10,800	157,620	0.780	constant	13.2	$1.51 \times 10^{-3}$	$7.64 \times 10^{-4}$

Wong simuloval variabilitu složení různými kombinacemi materiálu se stejnou výslednou celkovou vlhkostí. Zjistil odpovídající hodnoty hydraulické vodivosti pro daný odpad. Zjištěné hodnoty vykazují zajímavý trend (viz obrázek 1 na následné stránce). Hodnoty neberou v úvahu některé v praxi důležité činitele jako zrnitost či nesejznornost materiálu TKO. Přesné složení testovaného materiálu uvádí tabulka 6. Tyto hodnoty lze také předvést na grafu v semilogaritmickém zobrazení, jak ukazuje následující obrázek.

Propustnost materiálu TKO ovlivňuje hydraulická vodivost materiálu, teplota kapaliny a hustota kapaliny. Na hustotu kapaliny má vliv složení materiálu TKO a čas na vylouhování látek z materiálu TKO. Obecně platí že s rostoucím časem roste hustota výluhu.

<sup>8</sup> Wong Wilson Win Yue - Investigation of the technological properties of municipal solid waste as a function of placement conditions, Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo 2009  
[http://gwri.calpoly.edu/media/Research\\_Papers/Investigation\\_of\\_the\\_Geotechnical\\_Properties\\_of\\_Municipal\\_Solid\\_Waste\\_as\\_a\\_Function\\_of\\_Placement\\_Conditions.pdf](http://gwri.calpoly.edu/media/Research_Papers/Investigation_of_the_Geotechnical_Properties_of_Municipal_Solid_Waste_as_a_Function_of_Placement_Conditions.pdf)



**Obrázek 1** Závislost propustnosti na vlhkosti materiálu TKO<sup>9</sup>

Obrázek 1 ukazuje zajímavý trend závislosti propustnosti na obsahu vody. V daném měření se vlhkost měnila změnou složení předem připraveného materiálu. Dochází tedy k poklesu propustnosti s přírůstkem vlhkosti materiálu. Od určité vlhkosti se tento trend obrací. Propustnost se výrazně ovlivní stlačením materiálu. Uvedený obrázek platí pro vrchní vrstvy nestlačeného materiálu.

Al Thani a kol.<sup>10</sup> uvádí trend klesání hydraulické vodivosti s rostoucí hloubkou. Tento trend odpovídá postupnému stlačování materiálu nadložními vrstvami a s tím zmenšující se velikosti pórů. Xie a kol.<sup>11</sup> a Olivier a Gourc<sup>12</sup> zmiňují snižování hydraulické vodivosti vrstvením odpadu a následné stlačení strojem. Tím dochází k anizotropnímu chování materiálu.

<sup>9</sup> Wong Wilson Win Yue (2009), *Investigation of the technological properties of municipal solid waste as a function of placement conditions*, Faculty of California Polytechnic State University, San Luis, [http://gwri.calpoly.edu/media/Research\\_Papers/Investigation\\_of\\_the\\_Geotechnical\\_Properties\\_of\\_Municipal\\_Solid\\_Waste\\_as\\_a\\_Function\\_of\\_Placement\\_Conditions.pdf](http://gwri.calpoly.edu/media/Research_Papers/Investigation_of_the_Geotechnical_Properties_of_Municipal_Solid_Waste_as_a_Function_of_Placement_Conditions.pdf), 5.5.2011

<sup>10</sup> Al-Thani, A., Beaven, R., and White, J. (2003), *Modelling Flow to Leachate Wells in Landfills*, *Waste Management*, 24, 3, strany 271-276.

<sup>11</sup> Xie, M., Aldenkortt, D., Wagner, J., and Rettenberger, G. (2006). -Effect of Plastic Fragments on Hydraulic Characteristics of Pretreated Municipal Solid Waste, *Canadian Geotechnical Journal*, 43, strany 1333-1343.

Zjištěná hydraulická vodivost má velký podíl na rychlosti konsolidace materiálu TKO, pokud neprobíhá biologický rozklad TKO. Rozsah sedání materiálu TKO ovlivňuje propustnost pouze, pokud neprobíhá rozklad organické komponenty.

### **Vlivy na smykové napětí a stabilitu materiálu TKO**

Testování materiálu TKO je velmi náročné. Aby byla alespoň částečně potlačena heterogenita materiálu, musí být testováno větší množství materiálu najednou. V materiálu se navíc často vyskytují i velké částice, které se do konvekčních přístrojů nevejdou.

Wilson W. Wong použil ke zkoušení vlastní materiál složením odpovídající materiálu TKO podle EPA<sup>13</sup>, které uvádí tabulka 6.

---

<sup>12</sup> Olivier, F., and Gourc, J.-P. (2007). -Hydro-Mechanical Behavior of Municipal Solid Waste Subject to Leachate Recirculation in a Large-Scale Compression Reactor Cell, *Waste Management*, 27, 1, strany 44-58.

<sup>13</sup> United States Environmental Protection Agency

**Tabulka 6** Materiál použitý k testování vlastností materiálu panem Wongem <sup>14</sup>

EPA Category	Actual Material	Nominal Particle Size (mm)	Apparent Volume (mm <sup>3</sup> )	Equivalent Diameter (mm)	Laboratory Preparation	Moisture content (%)	Specific Gravity	Reference
Paper	Shredded paper	3 x 32	10	1.3	Cross cut shredded	6.8	1.53	(Weyerhaeuser Company 2008)
	Cardboard	50 x 50	7500	12.1	Cut	9.0	1.53	(Weyerhaeuser Company 2008)
Glass	Broken glass	Variable, 50 max <sup>1</sup>	Varies	Varies	Broken	0	2.6	(Lide 2008)
Steel	Nails	32	230	3.8	None	0	7.86	(Lide 2008)
Aluminum	Al shavings	Variable, 20 max	Varies	Varies	None	0	2.7	(Lide 2008)
Other metals	Al shavings	Variable, 20 max	Varies	Varies	None	0	2.7	(Lide 2008)
Plastics	Plastic chips	Variable, 10 max	60	2.4	None	0	0.95	(Brandrup and Immergut 1989)
	Plastic bags	50 x 50	50	2.3	Cut	0	0.92	(Alger 1989)
Rubber/leather	Shredded tires	Variable, 20 max	3,000	9.0	None	0	1.1	(Lide 2008)
	Leather coupons	50 x 50	2,500	8.4	Cut	13.7	0.86	(Lide 2008)
Textiles	Textile coupons	50 x 50	1,250	6.7	Cut	5.0	1.27	(Cotton Inc. 2008)
Wood	Wood chips	Variable, 30 max <sup>1</sup>	Varies	Varies	None	10.6	1.53	(Weyerhaeuser Company 2008)
Other materials	Concrete fragments	Variable, 50 max <sup>1</sup>	Varies	Varies	Crush, sort	0	2.59	Jansen (2009)
Food	Dog food	13 (diameter)	930	6.1	None	7.6	1.22	Previous experiment
Yard	Grass clippings	Variable, 50 max	Varies	Varies	None	260	0.94	Previous experiment
Other	Soil	Variable, 2 max	Varies	Varies	None	4.6	2.65	Experiment

Velikost do 50 mm pokrývá největší podíl materiálu TKO. Větší bývají například neslisované PET láhve, kusy nábytku, elektronika, stavební suť... Jde často o materiál, který do materiálu TKO podle legislativy nepatří. Takový materiál se objevuje náhodně a většinou jednorázově. Velké kusy materiálu se chovají jako balvanitá frakce. Málokdy podléhají zkáze (velké kusy organického materiálu bývají nejčastěji kusy vyřazeného nábytku, často jde o dřevotřísku). Pro malý výskyt a vysokou náročnost se tato frakce netestuje.

Zekkosův tým zkoušel odpady ze tří úrovní skládky tří měst. Úroveň A označili starší materiál z přelomu 80/90. let. Úroveň C připadla nejmladším vrstvám odpadu uloženým po roce 1999. Tým Dimitria Zekkose použil ke zkoušení materiál z Three Cities Landfill (Fremont, California).

<sup>14</sup> Wong Wilson Win Yue (2009), *Investigation of the technological properties of municipal solid waste as a function of placement conditions*, Faculty of California Polytechnic State University, San Luis, [http://gwri.calpoly.edu/media/Research\\_Papers/Investigation\\_of\\_the\\_Geotechnical\\_Properties\\_of\\_Municipal\\_Solid\\_Waste\\_as\\_a\\_Function\\_of\\_Placement\\_Conditions.pdf](http://gwri.calpoly.edu/media/Research_Papers/Investigation_of_the_Geotechnical_Properties_of_Municipal_Solid_Waste_as_a_Function_of_Placement_Conditions.pdf), 5.5.2011

**Tabulka 7** Složení a vlastnosti materiálu testovaný týmem Zekkos, Bray a Riemen <sup>15</sup>

Specimen	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> ) <sup>a</sup>	Moisture content (%)	Composition (% by weight)				
			< 20 mm	Paper	Soft plastics	Wood	Gravel
A3-1L	13.5	12.3	100	0	0	0	0
A3-2L	13.0	9.2	100	0	0	0	0
A3-3L	9.3	7.5-8.7	100	0	0	0	0
A3-4L	13.0	10.9-11.4	100	0	0	0	0
A3-5L	13.0	11.4	100	0	0	0	0
A3-6L	9.7	12.4	75.9	12.9	3.7	7.4	0
A3-7L	10.4	11.6	62.1	14.0	2.7	11.2	10
A3-8L	8.2	9.9	62.1	14.0	2.7	11.2	10
A3-9L	10.2	9.7	62.1	14.0	2.7	11.2	10
A3-11L	10.4	12.4	62.1	14.0	2.7	11.2	10
A3-12L	5.0	25.3	13.7	56.3	5	13.1	11.9
A3-13L	4.3	15.5	13.7	56.3	5	13.1	11.9
A3-14L	10.6	12.7	62.1	14.0	2.7	11.2	10
A3-15L	5.1	19.6	11.3	55.7	5.2	14.5	13.3
C6-1L	12.7	14.0	100	0	0	0	0
C6-2L	12.6	13.3	100	0	0	0	0
C6-3L	8.1	12.2	62.1	17.9	4.7	4.7	10.6
C6-4L	10.2	12.3	62.1	17.9	4.7	4.7	10.6
C6-7L	10.6	10.7	62.1	17.9	4.7	4.7	10.6
C6-8L	11.6	13.5	62.1	17.9	4.7	4.7	10.6
C6-10L	11.1	15.2	62.1	17.9	4.7	4.7	10.6
C6-11L	11.2	15.2	62.1	17.9	4.7	4.7	10.6
C3-1L	9.0	23	100	0	0	0	0
C3-2L	8.9	20.7	71.6	14.3	3.7	5.5	4.9
C3-3L	5.0	22.6	20.5	41.5	19	10	10

Z tabulky 7 je zřejmé, že na skládce uzavřené biologickým procesům probíhá sedání velmi pomalu. Obsah biologické složky je zde velmi nízký. Větší rozdíly v parametrech jsou ve stejné vrstvě, než mezi jednotlivými vrstvami. Gabr a Valero <sup>16</sup> uvádí, že na stabilitní charakteristiky materiálu mají vliv stáří materiálu, složení materiálu, velikost komponent a hustota. To vede k velkému rozptylu hodnot jednotlivých vlastností. Následující tabulka ukazuje soupis jednotlivých měření vybraných geotechnických parametrů v laboratoři i z terénního měření.

<sup>15</sup> Zekkos D., Bray J. a Riemen F.(2008)- *Shear modulus and material damping of municipal solid waste on large-scale triaxial testing*, Canadian Geotechnical Journal číslo 45, NCR Canada.

<sup>16</sup> Gabr, M., and Valero, S. (1995). -Geotechnical Properties of Municipal Solid Waste, *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, ročník 18, číslo 2, strany 241-251

Tabulka 8 smykové vlastnosti materiálu TKO (podle Dixon and Jones 2005)<sup>17</sup>

výzkumník	Rok měření	$\Phi$ stupně	Soudržnost (kPa)	metoda	poznámka
Ladva and Clark	1986	42	19	oedometr	starý odpad
Ladva and Clark	1986	38	16	oedometr	starý odpad
Ladva and Clark	1986	33	16	oedometr	1 rok starý odpad
Ladva and Clark	1986	24,5	23	oedometr	čerstvý odpad
Ladva and Clark	1986	33,6	10	oedometr	piliny a štěrka
Siegel a kol.	1990	39-53	0	Trojsojý přís.	5 různých materiálů TKO
Howland and Landva	1992	33	17	oedometr	10 až 15 let starý odpad
Del Greco and Oggeri.	1993	21	17,5	oedometr	TKO s nízkou hustotou
Del Greco and Oggeri	1993	22	23,5	oedometr	TKO s vysokou hustotou
Golder and Associates	1993	41	0	oedometr	
Jessberger	1994	38	7	nezjištěno	
Jessberger	1994	15	10	Zpětně zjištěno	
Jessberger	1994	17	10	Zpětně zjištěno	
Jessberger	1994	30	0	odhad	Terénní pozorování
Jessberger	1994	40	0	odhad	Terénní pozorování
Jessberger	1994	42	7	Prostý tlak	9 měsíců starý materiál
Jessberger	1994	26,5	28	doporučení	Čerstvý materiál
Fasset a kol.	1994	23	10	doporučení	Autorovo doporučení
Kolsch	1995	15	15	doporučení	Autorovo doporučení
Kolsch	1995	22	18	Zpětně zjištěno	Autorovo doporučení
Gabr a Valero	1995	34	16.8	Trojsojý přís.	Rozmělněná drť
Gabr a Valero	1995	20.5-39	0-27.5	oedometr	Rozmělněná drť
Benson a kol.	1996	35	20	doporučení	Autorovo doporučení
Benson a kol.	1996	42	24	oedometr	nasyčené vzorky
Kavazanjian	2001	33-59	16-30	Prostý tlak	Plně rozložený materiál
Reddy a kol. <sup>18</sup>	2008	26 - 30	31-64	oedometr	Čerstvý materiál
Reddy a kol. <sup>19</sup>	2008	38	16	Trojsojý přís.	Čerstvý materiál

<sup>17</sup> Dixon, N., and Jones, D. R. (2005), *Engineering Properties of Municipal Solid Waste, Geotextiles and Geomembranes*, 23, strany 205-233.

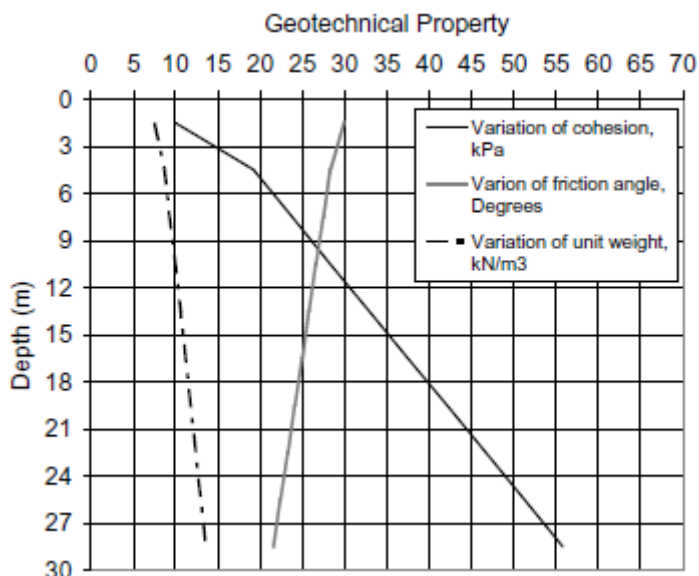
<sup>18</sup> Reddy, K., Hettiarachchi, H., Parakalla, N., and Gangathulasi, J. (2008). *Geotechnical Properties of Fresh Municipal Solid waste at Orchard Hills Landfill, USA*, Waste Management, ročník 29, číslo 2, strany 952-959.

<sup>19</sup> Reddy, K., Gangathulasi, J., Hettiarachchi, H., and Bogner, J. (2008). *Geotechnical Properties of a Municipal Solid Waste Subjected to Leachate Recirculation*, Geocongress 2008, Eds. A.N. Alshawabkeh, K. R. Reddy, and M.V. Khire, ASCE, New Orleans, LA, strany 144-151.

Za povšimnutí stojí rozdíly vzniklé rozkladem materiálu, kdy s postupem času roste úhel vnitřního tření. Rozsah hodnot roste od hodnot odpovídající jílu do vyšších hodnot než kyprý písek.

Singh and Murphy<sup>20</sup> uvádějí vztah soudržnosti a úhlu vnitřního tření jako nepřímou úměru.

Na skládce TKO v Novém Dillí však byly změřeny jiné trendy ve vlastnostech materiálu TKO, jak ukazuje obrázek 2.



**Obrázek 2** Hodnoty objemové hmotnosti, soudržnosti a úhlu vnitřního tření v průřezu skládkou v Novém Dillí (dle Babu, Kulkardi, Reddy a Srivastava)<sup>21</sup>

Tato skládka TKO podporuje závěry Sigha a Murphyho, ale odporuje trendu rostoucího úhlu vnitřního tření se stářím odpadu. Roli na tomto rozporu má několik faktorů.

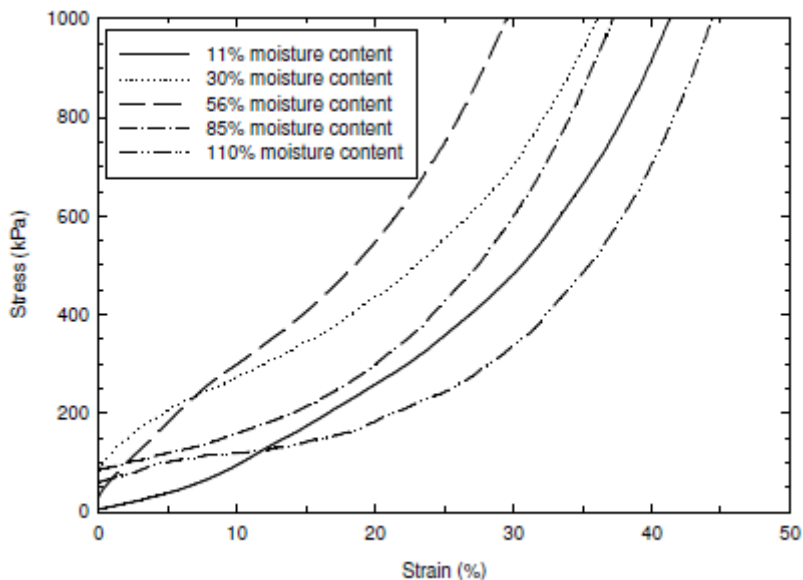
Zprvé výzkumy v horní tabulce se prováděly ve Spojených státech, zatímco v dolní tabulce je uvedena skládka v Indii. Musí se předpokládat, že v případě TKO nejde o tříděný odpad. Autoři také uvádějí možnost, že za pokles úhlu vnitřního tření mohou degradační procesy na organické složce materiálu TKO. Této variantě nahrává fakt, že na amerických skládkách často pro mocnost skládky

<sup>20</sup> Singh, S., and Murphy, B. (1990). "Evaluation of the Stability of Sanitary Landfills. In *Geotechnics of Waste Fills - Theory and Practice*," ASTM STP 1070, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, strany 240-258.

<sup>21</sup> Babu S., Kulkarni H., Reddy K., Srivastava A. (2010), *Reliability Analysis of Municipal Solid Waste Landfill Slopes*, 6th International Congress on Environmental Geotechnics, New Delhi, India <http://www.uic.edu/classes/cemm/cemmlab/6iceg-reliability-slopes.pdf>, 23.3.2011



nedochází k degradačním procesům. Předpokládaným dalším faktorem je trend vyhazování odpadu z domácností ve vyspělých zemích v igelitových pytlích, které se potom chovají jako balvanitá frakce, byť tvarově přizpůsobivá. V Indii se odpad do pytlů v domácnostech nedává.



**Obrázek 3** Závislost přetvoření na napětí při různých vlhkostech materiálu<sup>22</sup>

Obrázek 3 ukazuje závislost přetvoření materiálu na rostoucím smykovém napětí. Lze zde pozorovat, že odpad s vyšší vlhkostí má vyšší pevnost než materiál s nízkou vlhkostí. Od určitého napětí však tento trend neplatí a pevnost se snižuje. Graf vylučuje vnější faktory, protože měření se provádělo v laboratoři na vybraném složení materiálu. Pro různé úrovně vlhkosti se pouze měnily podíly jednotlivých složek. Obrázek na následující straně ukazuje ve zvětšeném výřezu z předchozí tabulky detailní záznam pro malá smyková napětí.

<sup>22</sup> Wong Wilson Win Yue (2009), *Investigation of the technological properties of municipal solid waste as a function of placement conditions*, Faculty of California Polytechnic State University, San Luis,

[http://gwri.calpoly.edu/media/Research\\_Papers/Investigation\\_of\\_the\\_Geotechnical\\_Properties\\_of\\_Municipal\\_Solid\\_Waste\\_as\\_a\\_Function\\_of\\_Placement\\_Conditions.pdf](http://gwri.calpoly.edu/media/Research_Papers/Investigation_of_the_Geotechnical_Properties_of_Municipal_Solid_Waste_as_a_Function_of_Placement_Conditions.pdf), 5.5.2011

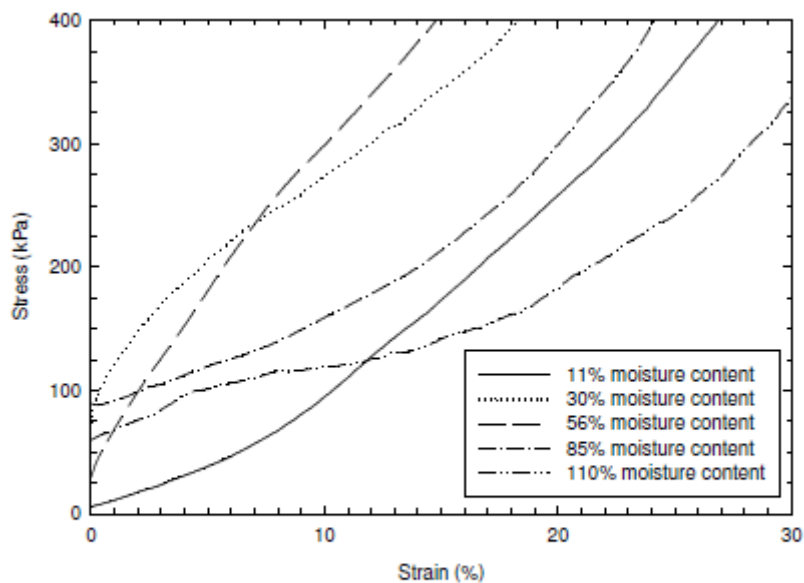
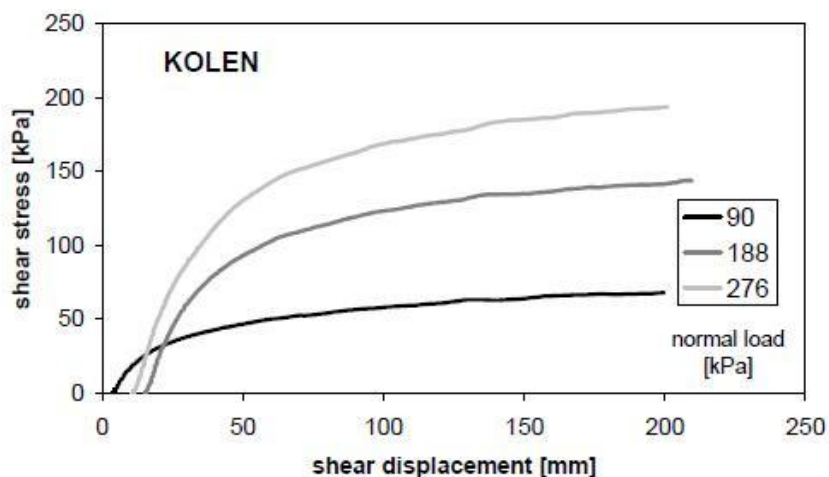


Figure 20. CRS compression test results – stress as a function of strain enlarged to show detail at low strains

**Obrázek 4** Detailní tabulka pro nízká napětí<sup>23</sup>

Dále je silný vliv na vztah napětí/přetvoření vlastní hmotností skládky. Florian Kölsch zkoušel čerstvý odpad ve speciálním krabicovém přístroji při různých normálových napětích.

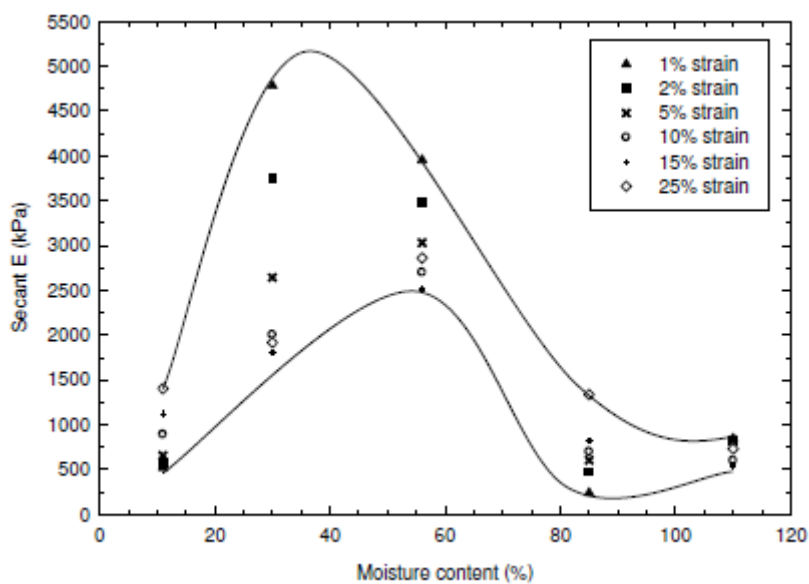
<sup>23</sup> Wong Wilson Win Yue (2009), *Investigation of the technological properties of municipal solid waste as a function of placement conditions*, Faculty of California Polytechnic State University, San Luis, [http://gwri.calpoly.edu/media/Research\\_Papers/Investigation\\_of\\_the\\_Geotechnical\\_Properties\\_of\\_Municipal\\_Solid\\_Waste\\_as\\_a\\_Function\\_of\\_Placement\\_Conditions.pdf](http://gwri.calpoly.edu/media/Research_Papers/Investigation_of_the_Geotechnical_Properties_of_Municipal_Solid_Waste_as_a_Function_of_Placement_Conditions.pdf), 5.5.2011



**Obrázek 5** Graf napětí proti přetvoření při různých normálových napětí v čerstvém materiálu (dle Kölsch – shear strength of waste)<sup>24</sup>

Pomocí různých normálových napětí jsou simulovány podmínky v různých hloubkách skládek TKO. Z obrázku 5 je patrné, že na materiál má velký vliv tíha nadloží. Toto nadložní nemusí být tvořeno jen materiálem TKO. Autor použil označení KOLEN pro čerstvý materiál TKO.

## Pružnost



**Obrázek 6** Závislost sečného Youngova modulu na vlhkosti materiálu<sup>25</sup>

<sup>24</sup> - Kölsch F.(2009), *Shear streng of waste*, Technische universitat Braunschweig, <http://www.lwi.tu-bs.de/hpm/docs/paper/25%20Paper%20Koelsch.pdf> 21.7.2011

V první části grafu na obrázku 7 je patrný trend rostoucího Youngova modulu. Tento trend je způsoben růstem podílu organické složky, která se chová pružně. Při dosažení určitého podílu vody v materiálu pružnost rychle klesá. Graf též ukazuje vliv přetvoření.

## **Stlačitelnost a sedání materiálu**

Na rozdíl od zemin je stlačitelnost TKO komplikovaná heterogenitou materiálu. Stlačení materiálu probíhá jednak sypáním dalších vrstev materiálu na stávající (odvodněné zatížení), tak i umělým stlačením průjezdem speciálního kompaktoru (neodvodněné zatížení). Hudson a kol. (2004)<sup>26</sup> zatěžoval materiál postupně rostoucím napětím od 34 do 463 kPa. Dosáhl zvýšení suché objemové hmotnosti z přibližně 3,8 na 7 kN/m<sup>3</sup>.

Další redukce objemu materiálu probíhá rozkladem organického materiálu. Rozklad probíhá jak aerobními tak anaerobními procesy. Redukce materiálu a jeho rychlost je závislá jednak na množství organického materiálu, tak i na zakrytí nebo nezakrytí skládky. Zakrytím skládky je znemožněn aerobní rozklad, čímž dochází ke zpomalení rozkladných procesů. Pokud se ale zakrývá skládka s již zahájeným rozkladným procesem, může hermeticky uzavřená skládka mít tendenci se nadouvat (bioplyn nemá kam unikát a hromadí se pod zábranou), a je zde i nebezpečí výbuchu bioplynu.

Obecně má na stlačitelnost vliv jak materiál samotný (zrnitost) tak i okolí skládky (tlak nadloží).

## **Vliv rozhraní na mechanické vlastnosti**

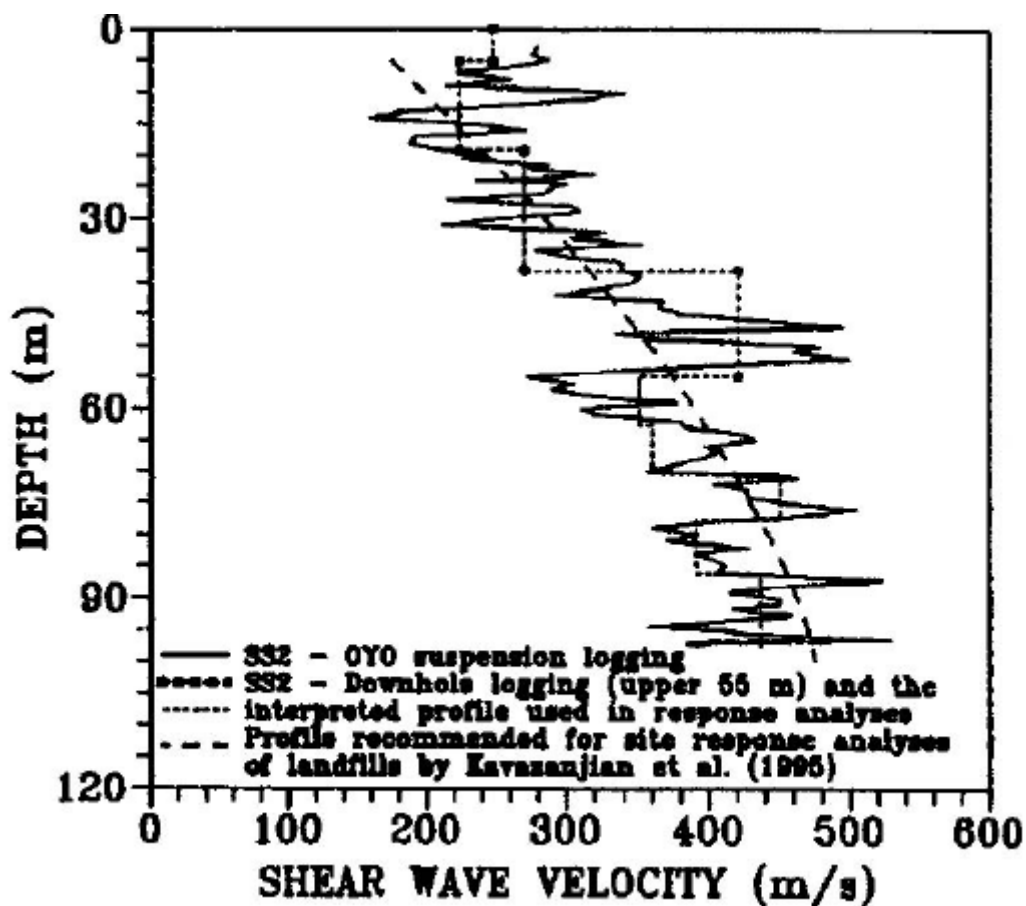
V předchozích částech byly uvedeny různé parametry a jejich vlivy. Je však třeba mít na paměti jak nejednotlivá je skládka TKO. Odpověď dává následující obrázek:

---

<sup>25</sup> Wong Wilson Win Yue (2009), *Investigation of the technological properties of municipal solid waste as a function of placement conditions*, Faculty of California Polytechnic State University, San Luis,

[http://gwri.calpoly.edu/media/Research\\_Papers/Investigation\\_of\\_the\\_Geotechnical\\_Properties\\_of\\_Municipal\\_Solid\\_Waste\\_as\\_a\\_Function\\_of\\_Placement\\_Conditions.pdf](http://gwri.calpoly.edu/media/Research_Papers/Investigation_of_the_Geotechnical_Properties_of_Municipal_Solid_Waste_as_a_Function_of_Placement_Conditions.pdf), 5.5.2011

<sup>26</sup> Hudson, A., White, A., Beaven, R., and Powrie, W. (2004), *Modeling the compression behavior of landfilled domestic waste*, Waste Management, číslo 24, strany 259-26



**Obrázek 7** Rychlost smykových vln při průchodu skládkou <sup>27</sup>

V grafu na obrázku 8 je vidět trend růstu kompaktnosti s rostoucí hloubkou, tak i množství výkyvů v jednotlivých úrovních skládky. Jedná se o skládku v Kalifornii, USA.

Uvedená anizotropie má rozhodující vliv na stabilitu celé skládky TKO, protože pro stabilitu je kritickou vrstva s nejmenším úhlem vnitřního tření/ nejnižší soudržností. Tuto skutečnost nelze odstranit vnějším činitelem, lze ji pouze omezit uclením materiálu (stlačením). Míra heterogenity je dána pouze variací složení TKO a rychlostí přírůstku vrstev TKO. S prodlužujícím intervalem přírůstku počtu jednotlivých vrstev materiálu roste heterogenita.

---

<sup>27</sup> Lee J. J.(2007). *Dynamic Characteristics of Municipal Solid Waste (MSW) in the Linear and Nonlinear Strain Ranges*, disertační práce, The University of Texas at Austin , strana 16

## Vliv degradačních procesů na geotechnické parametry

Degradační procesy na skládkách TKO nejvíce ovlivňují procesy v celé skládce měněním složení materiálu. Při těchto procesech dochází k redukci biologické složky materiálu a k tvorbě skládkového plynu. Má-li plyn možnost volně unikat, na parametry skládky nemá vliv. Je-li však blokován, vytváří vzduchové kapsy pod zákrytem a na bázi skládky.

Tvorba skládkového plynu je součástí procesů probíhající po uložení odpadu. Probíhá od zakrytí vrstvy odpadu po dobu až 30 let. Produkty jsou metan ( $\text{CH}_4$ ) a oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ). Metan má nižší hustotu než vzduch a stoupá do atmosféry, oxid uhličitý má vyšší hustotu a hromadí se na bázi skládky. Mimo vliv na geotechnické parametry jsou oba plyny skleníkové a metan při správné koncentraci výbušný.

Mezi hlavní činitele ovlivňující rychlost tvorby skládkového plynu se uvádí vlhkost, pH skládkového výluhu a teplota ve skládce.

Materiál TKO rychlost a množství skládkového plynu ovlivňuje svým složením. (Žáková M)<sup>28</sup> uvádí ve své práci tvorbu 100 – 300 m<sup>3</sup> skládkového plynu z tuny odpadu. Množství plynu závisí na množství biologicky odbouratelné složky. Toto množství stoupá s vyříděností odpadu. Je-li v materiálu větší množství kovů, dochází ke zpomalení procesu tvorby plynu vznikem sulfidů kovů a tím snížením pH.

Vlhkost odpadu je další činitel v množství produkovaného skládkového plynu. Zdrojem vlhkosti je jednak materiál odpadu, tak i vlhkost přivedená z okolí (přímo srážková voda u nezakrytých skládek, průsaky krytem skládky a vsaky ze stran skládky). Ideální vlhkost pro tvorbu skládkového plynu je 80 procent. Klesne-li vlhkost pod určitou úroveň (kvalitním zatěsněním skládky nebo saturací v nadložní vrstvě odpadu), produkce plynu se zastaví – rozkladné procesy nemůžou probíhat.

*Mamuti skládky komunálních odpadů, jako je např. těleso Fresh Kills v New Yorku, skrývají v hloubkách přes 15 m materiály v neuvěřitelně zachovalém stavu právě díky tomu, že se zde anaerobní procesy zastavily pro nedostatek vody. Tak například byly z hloubky tělesa vytěženy a datovány tyto předměty: hlavička mumifikovaného salátu o stáří 5 let, zcela bez problémů čitelné noviny o stáří 12*

---

<sup>28</sup> Žáková M.(2009), *Skládkový plyn*. Bakalářská práce, Universita Tomáše Bati ve Zlíně, Technologická fakulta.

[http://dspace.knihovna.utb.cz/bitstream/handle/10563/10453/%C5%BE%C3%A1kov%C3%A1\\_2009\\_bp.pdf?sequence=1](http://dspace.knihovna.utb.cz/bitstream/handle/10563/10453/%C5%BE%C3%A1kov%C3%A1_2009_bp.pdf?sequence=1) 27.6.2011

let, párek v rohlíku starý 15 let, syrová vepřová kotleta stará 15 let na níž je zcela zřetelně odlišeno narůžovělé maso a bělavý tuk.<sup>29</sup>

Optimální vlhkost pro tvorbu plynu se uvádí kolem 80 procent<sup>30</sup>. Další činitel ovlivňující tvorbu plynu je pH.<sup>31</sup> Uvádí se kyselost, kdy probíhá tvorba plynu mezi pH 8 a 6. Michal Židek<sup>32</sup> uvádí, že při poklesu pH pod 6,2 dochází k silné inhibici tvorby plynu. Pokles pH může způsobit kromě složení materiálu i zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub>. Tento vliv se projevuje hlavně na bázi skládky. Teplota má vliv na zahájení tvorby plynu. Tvorba plynu neprobíhá při teplotě nižší než 4 °C. *Různé druhy methanogenních bakterií se liší v požadavcích na optimální teplotu. Methanogenní bakterie jsou schopny produkce plynu při teplotách od 4 °C do 97 °C, na skládkách však většinu produkce zajišťují acetotrofní druhy methanosarcina (barkeri, mazeiacetivorans) s teplotním optimem 25 °C a různí hydrogenotrofní zástupci třídy methanobacteria (methanobacteria boone, methanobacterium thermoautotrophicum) s teplotními optimy okolo 50°C až 60°C<sup>33</sup>.*

Pokud již procesy probíhají, teplotní vliv se omezuje na vrchní vrstvu odpadu. Při biodegradčních procesech vzniká teplota až 55 °C. Proces je exotermický. V praxi to znamená, že již nastartovaný rozkladný proces lze zastavit změnou teploty (uvádí se pokles pod 20°C), snáze se zastaví izolací skládky.

---

<sup>29</sup> Straka F. Skládkový plyn (1999), *Faktory ovlivňující tvorbu skládkového plynu*. Odpady. 1999, č. 9, s. 19-22, ISSN 1210-4922.

<sup>30</sup> - Wreford, K. A., Atwater, J. W., Lavkulich, L. M. (2000), *The effects of moisture inputs on landfill gas production and composition and leachate characteristics at the Vancouver landfill site at Burns Bog*. Waste Management & Research., číslo 18, s. 386-392, ISSN 0734-242X

<sup>31</sup> . Miller, P. A., CLESCERI, Nicholas L. (2003), *Waste sites as biological reactors : Characterization and modelling*, CRC Press LLC, ISBN 1-56670-550-9

<sup>32</sup> Židek M. (2004). *Anaerobní digesce zvolených substrátů na laboratorním fermentoru*, VŠB-TU Ostrava  
[http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa\\_iii/papers/08-Zidek.pdf](http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa_iii/papers/08-Zidek.pdf). strany. 43-50, 17.3.2011

<sup>33</sup> Kalina J. (2007), *Matematické modelování biodegradativních procesů*, Bakalářská práce, Přírodovědná universita Masarykovy university, [http://is.muni.cz/th/150824/prif\\_b/bc.txt](http://is.muni.cz/th/150824/prif_b/bc.txt), 14.6.2010

Při izolaci skládky je nutné hlídat sedání skládky. Při přílišném sedání může dojít k porušení izolace a k rozšíření či ke zrychlení degradačních procesů.

## Shrnutí poznatků

Materiál na skládkách tuhých komunálních odpadů je výrazně ovlivňován okolními faktory u většiny geotechnických parametrů. Velkou úlohu na celkových charakteristikách materiálu má též rychlost navezení a proměnlivost složení materiálu. Na rozdíl od zeminy mají vlivy na geotechnice vlastnosti i možnost snadné deformace zrn materiálu TKO. Kromě jiného:

- 1) Stlačením materiálu se ovlivní zrnitost, hydraulická vodivost, propustnost, a další parametry ovlivněné změnou předchozích.
- 2) Zakrytím skládky lze zabránit biologické degradační procesy, pokud již neprobíhají.
- 3) Probíhají-li degradační procesy, lze nežádoucí změny pórovitosti materiálu omezit odvětrávání skládky na bázi i ve vrchní části.
- 4) Stabilitu skládky lze zvýšit drénováním dna skládky a izolací stran a vrchu skládky.
- 5) Na otevřené skládce nebudou probíhat rozkladné procesy, pokud nebude dodržena podmínka minimálního podílu organické složky, vhodné teploty a vlhkosti.
- 6) Největší sedání skládky způsobují rozkladné procesy a to až 6 metrů.

Skládka, na které neprobíhá degradace biologické složky, se chová jako násyp. Zde hrají roli stejné faktory jako u zemin. Při průběhu biologického odbourávání dále rozhoduje vhodnost podmínek pro rozklad, teplota, podíl biologické složky a čas.



## Seznam použité literatury

- Al-Thani, A., Beaven, R., and White, J. (2003), *Modelling Flow to Leachate Wells in Landfills*, Waste Management , 24, 3, strany 271-276.
  
- Babu S., Kulkarni H., Reddy K., Srivastava A. (2010), *Reliability Analysis of Municipal Solid Waste Landfill Slopes*, 6th International Congress on Environmental Geotechnics, New Delhi, India  
<http://www.uic.edu/classes/cemm/cemmlab/6iceg-reliability-slopes.pdf>, 23.3.2011
  
- Capelo, J., and DeCastro, M. (2007), *Measuring Transient Water Flow in Unsaturated Municipal Solid Waste - A New Experimental Approach*, Waste Management , 27, 6, strany 811-819.
  
- Dixon, N., and Jones, D. R. (2005), *Engineering Properties of Municipal Solid Waste*, Geotextiles and Geomembranes, 23, strany 205-233.
  
- Gabr, M., and Valero, S. (1995) ,*Geotechnical Properties of Municipal Solid Waste*, Geotechnical Testing Journal, ASTM, 18, 2, 241-251
  
- Hudson, A., White, A., Beaven, R., and Powrie, W. (2004),*Modeling the compression behavior of landfilled domestic waste*, Waste Management, 24, 259-26
  
- Kalina J.(2007), *Matematické modelování biodegradativních procesů*, Bakalářská práce, Přírodovědná universita Masarykovy university, [http://is.muni.cz/th/150824/prif\\_b/bc.txt](http://is.muni.cz/th/150824/prif_b/bc.txt), 14.6.2010
  
- Kavazanjian, E. Jr., Matasovic, N. (2000) ,*Seismic Analysis of Solid Waste Landfills*, *Proceedings of GeoEnvironment*, ASCE Geotechnical Special Publication, číslo 46, roč. 2, strany 1066-1080.
  
- Kavazanjian, E. Jr., Matasovic, N., Bonaparte, R., Schmertmann, G. R. (2000),*Evaluation of MSW Properties for Seismic Analysis*, *Proceedings of Geoenvironment* , ASCE Geotechnical Special Publication číslo 46, roč. 2, strany 1126-1141.
  
- Kavazanjian, E. (1999), *Seismic design of solid waste containment facilities*, *Proceedings of the 8th Canadian Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., <http://www.infomine.com/publications/docs/Kavazanjian1999.pdf> ,12.8.2011

- Kosgy S., Motan E. S., Reddy K.R.(1996), *Interface shear behavior of landfill composite liner systems :A finite element analysis*, Geosynthetics International ročník 3, číslo. 2, ISSN 1072-6349
  
- Kölsch F.(2009), *Shear streng of waste*, Technische universitat Braunschweig, <http://www.lwi.tu-bs.de/hpm/docs/paper/25%20Paper%20Koelsch.pdf> 21.7.2011
  
- Landva, A.O., Valsangkar, A.J., and Pelkey, S.G (2000), *Lateral Earth Pressure at Rest and Compressibility of Municipal Solid Waste*, Canadian Geotechnical Journal, ročník 37, číslo 6, strany 1157-1165
  
- Lee J. J.(2007). *Dynamic Characteristics of Municipal Solid Waste (MSW) in the Linear and Nonlinear Strain Ranges*, disertační práce, The University of Texas at Austin , strana 16
  
- Miller,P. A., CLESCERI, Nicholas L.(2003), *Waste sites as biological reactors : Characterization and modelling*, CRC Press LLC, ISBN 1-56670-550-9
  
- Matasovic, N., Kavazanjian, E. Jr., and Abourjeily, F. (1995),*Dynamic Properties of Solid Waste from Field Observations*, Proc., 1st Int. Conf. on Earthquake Geotech. Engrg., 1, strany 549-554.
  
- Nur Irfah M. Pauzi, Husaini Omar a Zainuddin M. Yusoff - *Geotechnical properties of waste soil from open dumping area in Malaysia*, <http://www.ejge.com/2011/Ppr11.090/Ppr11.090alr.pdf>, revize 12.8.2011
  
- Olivier, F., and Gourc, J.-P. (2007),*Hydro-Mechanical Behavior of Municipal Solid Waste Subject to Leachate Recirculation in a Large-Scale Compression Reactor Cell*, Waste Management, 27, 1, strany 44-58.
  
- Singh, S., and Murphy, B. (1990),*Evaluation of the Stability of Sanitary Landfills. In Geotechnics of Waste Fills - Theory and Practice,*" ASTM STP 1070, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, strany 240-258.
  
- Straka F. Skládkový plyn (1999), *Faktory ovlivňující tvorbu skládkového plynu*. Odpady. 1999, č. 9, s. 19-22, ISSN 1210-4922.

-United States Environmental Protection Agency (EPA)

<http://www.epa.gov/osw/nonhaz/municipal/pubs/msw2009-fs.pdf>

- Wong Wilson Win Yue (2009), *Investigation of the technological properties of municipal solid waste as a function of placement conditions*, Faculty of California Polytechnic State University, San Luis,

[http://gwri.calpoly.edu/media/Research\\_Papers/Investigation\\_of\\_the\\_Geotechnical\\_Properties\\_of\\_Municipal\\_Solid\\_Waste\\_as\\_a\\_Function\\_of\\_Placement\\_Conditions.pdf](http://gwri.calpoly.edu/media/Research_Papers/Investigation_of_the_Geotechnical_Properties_of_Municipal_Solid_Waste_as_a_Function_of_Placement_Conditions.pdf), 5.5.2011

- Wreford, K. A., Atwater, J. W., Lavkulich, L. M. (2000), *The effects of moisture inputs on landfill gas production and composition and leachate characteristics at the Vancouver landfill site at Burns Bog*. Waste Management & Research., číslo 18, s. 386-392, ISSN 0734-242X

- Xiaobo Xiong, Guoqing Gui, Bin Shi, Baojun Wang, Mincai Jia, Qihua Zhao, a Chunlei Li – *Evaluation and discussion of liner system in sanitary landfills*, strana 191, <http://lib.hpu.edu.cn/>

- Xie, M., Aldenkortt, D., Wagner, J., and Rettenberger, G. (2006), *Effect of Plastic Fragments on Hydraulic Characteristics of Pretreated Municipal Solid Waste*, Canadian Geotechnical Journal, 43, strany 1333-1343, NCR Canada.

- Zekkos D., Bray J. a Riemen F.(2008)- *Shear modulus and material damping of municipal solid waste on large-scale triaxial testing*, Canadian Geotechnical Journal číslo 45, NCR Canada.

- Žáková M.(2009), *Skládkový plyn*. Bakalářská práce, Universita Tomáše Bati ve Zlíně, Technologická fakulta.

[http://dspace.knihovna.utb.cz/bitstream/handle/10563/10453/%C5%BE%C3%A1kov%C3%A1\\_2009\\_bp.pdf?sequence=1](http://dspace.knihovna.utb.cz/bitstream/handle/10563/10453/%C5%BE%C3%A1kov%C3%A1_2009_bp.pdf?sequence=1) 27.6.2011

- Židek M.(2004). *Anaerobní digesce zvolených substrátů na laboratorním fermentoru*, VŠB-TU Ostrava  
[http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa\\_iii/papers/08-Zidek.pdf](http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa_iii/papers/08-Zidek.pdf). strany. 43-50, 17.3.2011

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1 Složení tuhého komunálního odpadu ve světě (rok 2009)

Tabulka 2 Složení TKO ve světě a Číně

Tabulka 3 Geotechnické parametry TKO v Číně

Tabulka 4 Porovnání zrnitosti materiálu TKO s přirozenou zeminou

Tabulka 5 Změna propustnosti materiálu TKO v závislosti na teplotě a vlhkosti odpadu

Tabulka 6 Materiál použitý k testování vlastností materiálu panem Wongem

Tabulka 7 Složení a vlastnosti materiálu testovaný týmem Zekkos, Bray a Riemen

Tabulka 8 smykové vlastnosti materiálu TKO (podle Dixon and **Jones 2005**)

## **Seznam obrázků**

Obrázek 1 Závislost propustnosti na vlhkosti materiálu TKO

Obrázek 2 Hodnoty objemové hmotnosti, soudržnosti a úhlu vnitřního tření v průřezu skládkou v Novém Dillí (dle Babu, Kulkardi, Reddy a Srivastava)

Obrázek 3 Závislost přetvoření na napětí při různých vlhkostech materiálu

Obrázek 4 Detailní tabulka pro nízká napětí

Obrázek 5 Graf napětí proti přetvoření při různých normálových napětí v čerstvém materiálu (dle Kölsch – shear strength of waste)

Obrázek 6 Závislost sečného Youngova modulu na vlhkosti materiálu

Obrázek 7 Rychlost smykových vln při průchodu skládkou