

Sveučilište u Zagrebu

Građevinski fakultet

Diplomski sveučilišni studij

Smjer: **GEOTEHNIKA**

# Geotehnika i zaštita okoliša 5

Prof. dr. sc. Tomislav Ivšić  
Građevinski fakultet Zagreb

# Geotehnički aspekti odlagališta

## Građevina nastala nasipavanjem

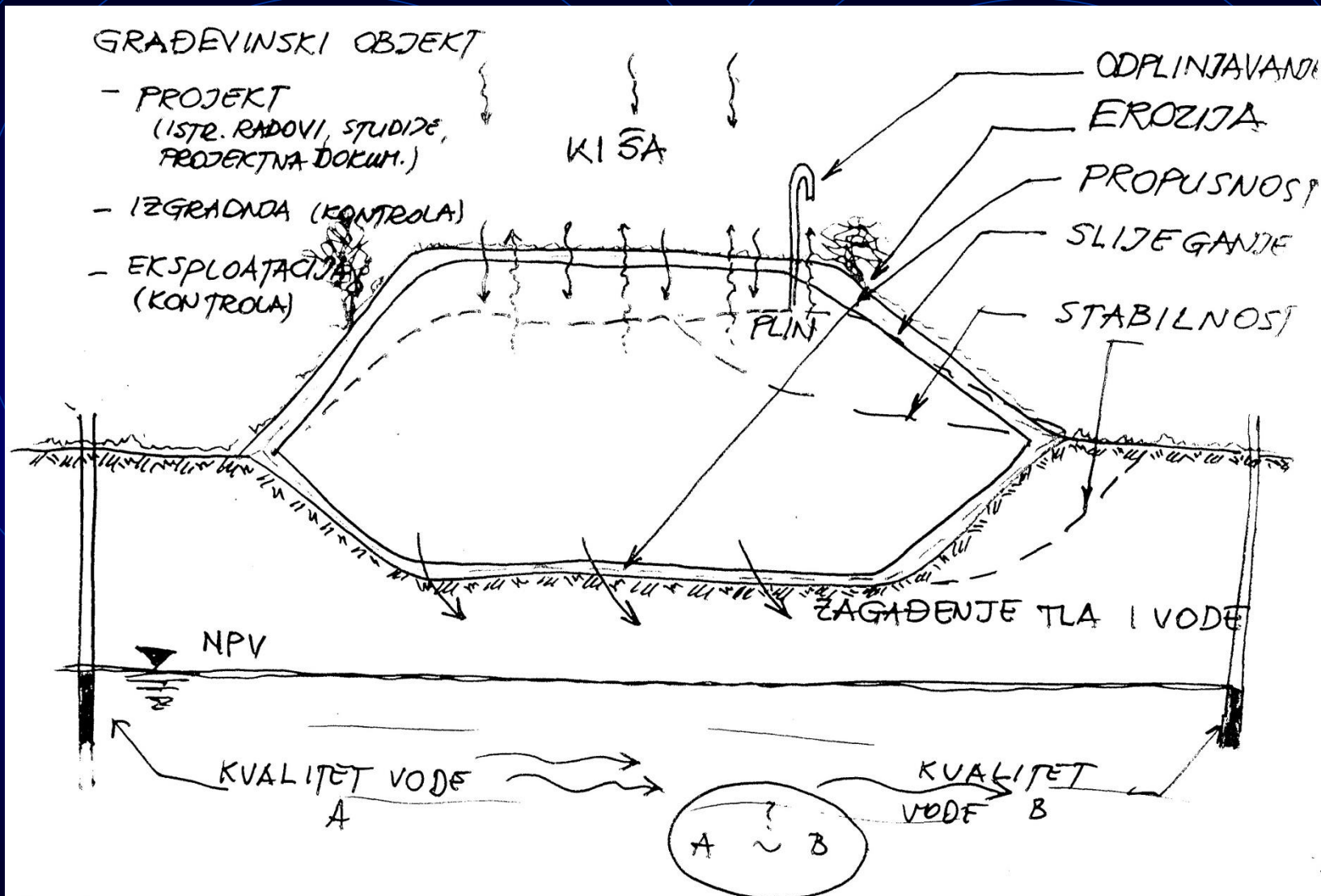
- krutih materijala (komunalni otpad ili otpad iz rudničkih, industrijskih ili energetske postrojenja) ili
- taloženjem tvari iz muljevutih suspenzija (nastalih kao nusprodukt nekih tehnoloških procesa ili kao dio transportnog postupka)

# Geotehnički aspekti odlagališta

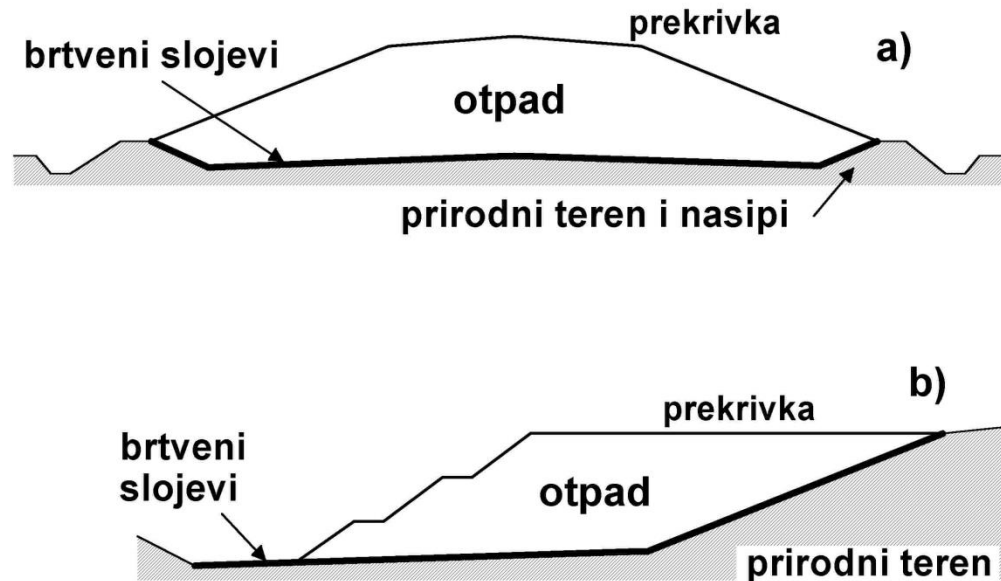
## Građevinski problemi odlagališta

- globalna statička i seizmička stabilnost tijela odlagališta
- slijeganja odlagališta i njegovih dijelova
- ustroj i erozijsku stabilnost pokrova
- odvodnja oborinskih voda i kontrolirano procjeđivanje tekućina

# UREĐENO ODLAGALIŠTE

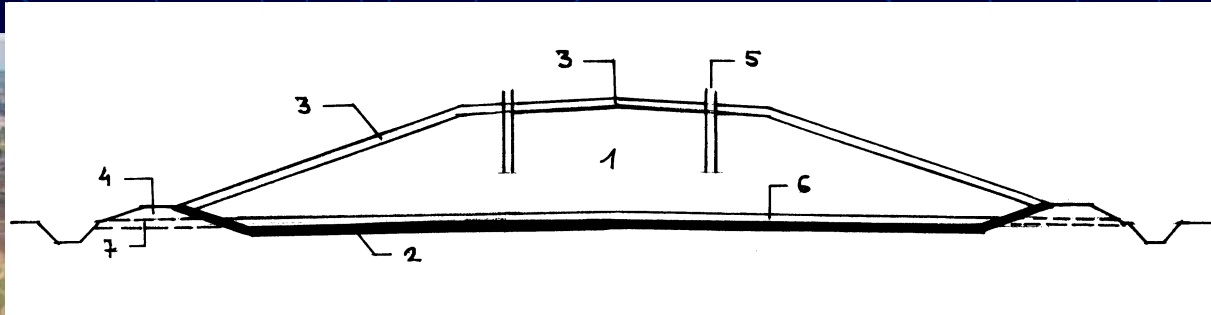


# UREĐENO ODLAGALIŠTE



**Najčešći položaji odlagališta otpada u odnosu prema terenu: a) nasipavanje iznad prirodnog terena; b) zatrpavanje prirodnih ili umjetnih udolina**

# Karakteristični presjek i glavni dijelovi odlagališta



- 1. Otpad**
- 2. Donji brtveni sloj**
- 3. Pokrovni sloj**
- 4. Obodni nasip**
- 5. Zdenci za otplinjavanje**
- 6. Drenažni tepih (plošni dren)**
- 7. Odvod vode iz plošnog drena**

# Klasifikacija otpada

## Uzimanje uzoraka

**Reprezentativni uzorak** iz izdvojene količine komunalnog otpada dobiva se na sljedeći način:

- **mrežna tehnika**: slučajni izbor mjesta na zamišljenoj preko otpada postavljenoj mreži
- **četvrtanje**: hrpa otpada se iz centra razdjeli na četvrtine te se dvije nasuprotne hrpe odbace, preostale spoje, a postupak se ponavlja sve do dobivanja potrebne veličine uzorka
- **uzimanje iz središta hrpe**: otpad se izmiješa, a uzorak se nakon strojnog razgrtanja uzima iz središta hrpe



Slika 1: Stroj za sortiranje otpada



Slika 2: Ručno sortiranje krupnijeg otpada

## Komponente komunalnog otpada

Komponenta	Podvrste
<b>Papir (obojen ili neobojen)</b>	Novine, časopisi, knjige, telefonske knjige, fotokopirni papir, printani papir, koverta, razglednice te ostale vrste papira, kao npr. papirate maramice, salvete, papirnati ručnici i sl.
<b>Karton</b>	Kartonska ambalaža
<b>Višeslojni premazni karton</b>	Kartonska ambalaža za mlijeko, sokove, detergente i sl.
<b>Meka plastika</b>	Mekana, folijarna, elastična plastika, plastične vrećice, i sl.
<b>Tvrda plastika</b>	Tvrda plastična ambalaža za tekuće detergente, omekšivače, izbjeljivače, šampone, motorno ulje, igračke, plastične žličice za napitke i sl. proizvodi namijenjeni za domaćinstvo
<b>PET ambalaža</b>	Plastične boce za sokove, mineralnu vodu, ulje, ocat, mlijeko, neka sredstva za čišćenje i pranje i sl.
<b>Staklo</b>	Bezbojna, zelena i smeđa staklena ambalaža namijenjena pakiranju hrane i raznih pića i napitaka, te ostali stakleni predmeti kao npr. vaze, zrcala, prozorsko staklo, vatrostalno staklo, dekorativno staklo i sl.
<b>Metalna ambalaža</b>	Aluminijske limenke od bezalkoholnih pića i piva
<b>Metal</b>	Razni metalni predmeti iz domaćinstva, limenke od hrane, kozmetike, metalne cijevi, sl.
<b>Drvo</b>	Razne vrste obrađenog ili neobrađenog drva, dijelovi namještaja, letve, drveni predmeti i sl.
<b>Guma</b>	Gume od bicikla, gumena crijeva za polijevanje, gumene rukavice i sl.
<b>Tekstil</b>	Razne razderane krpe od vune, pamuka i dr. materijala, i sl.
<b>Odjeća i obuća</b>	Caritas i sl.
<b>Akumulatori</b>	Od motornih vozila
<b>Baterije</b>	Uporaba u domaćinstvima
<b>Boje, tinte, ljepila i smole</b>	Razna ambalaža s ostacima boja, lakova i sl.
<b>Lijekovi</b>	Razne vrste lijekova - tablete, herbicida i sl.
<b>Elektrooprema</b>	Štampane ploče, pegle, sušila za kosu, radioaparati, mobilni telefoni i sl.
<b>Organski otpad iz kuhinje</b>	Svi ostaci od pripreme, obrade i prerade hrane, kruh, pokvareno voće i povrće
<b>Biootpad</b>	Sezonski otpad s okućnica i parkova - pokošena trava, granje, lišće i sl.
<b>Građevinski otpad</b>	Zemlja, kamenje, cigla, štuta
<b>Bijela tehnika</b>	Olupine bijele tehnike i sl.
<b>Otpad životinjskog podrijetla</b>	Svježe, neobrađeno i suho meso s kostima i kožom, i sl.
<b>Pelene</b>	Pelene, higijenski ulošci i sl.
<b>Sitnež</b>	Otpad koji propada kroz rupe promjera 40 mm, a smjesa je gore navedenih komponenti



# Klasifikacija otpada

- otpad sličan tlu (*soil-like waste*), definiran kao čestični materijal za koji su primjenjiva načela mehanike tla
  - otpadni građevinski materijal,
  - jalovina,
  - industrijski i kanalizacijski mulj,
  - ostaci spaljivanja

# Klasifikacija otpada

Table 2-2: Examples for geotechnical parameters of soil like wastes

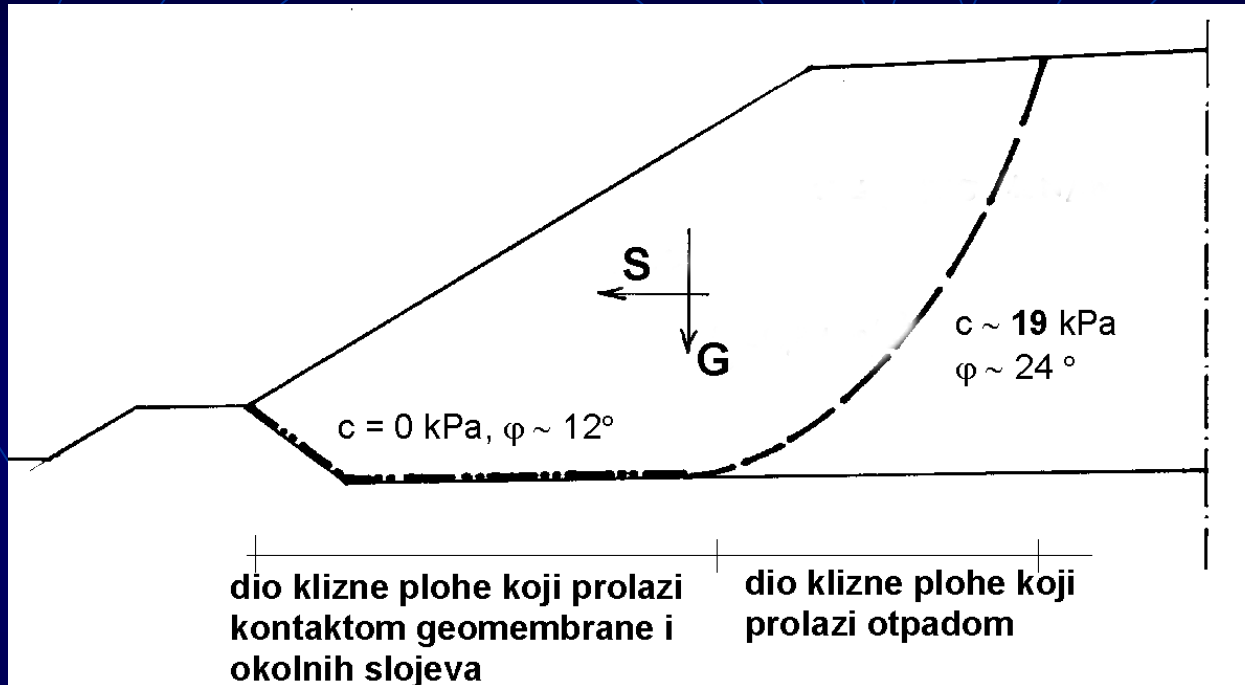
Description of waste	Unit weight [kN/m <sup>3</sup> ]	Friction angle [°]	Cohesion [kN/m <sup>2</sup> ]	Reference
Mixed industrial sludge	12.7 - 16.9	35-39	0-40	Belfiore (1990)
Phosphogypsum	16 - 16.2	31-34	not reported	Ivanc (1991)
Foundry sand	17.6	35	0	Martin & Genthe (1993)
Quenched slag	19.2	36	0	
Waste Pickle Liquor Sludge	10.5 - 11.9	13.2-38.3	0 - 2.4	Michalski et al (1995)
industrial waste from lead and zinc production	12.2-20.3	34.8 - 42.0	0	Patata et al (1995)
Construction debris	21.4	38.1	85	Jessberger & Laue (1992)
Ashes from municipal solid waste	16.7	46.6	34	
Construction debris	11 - 16	30 - 40	0 - 10	Turczynski (1990)
Excavated soils	> 15	25 - 32	0 - 20	
Mixed ashes	6 - 11	26 - 30	0 - 30	
Residue of industrial filtration processes	7 - 11	18 - 25	0	

# Klasifikacija otpada

otpad različit od tla (*non soil-like waste*),  
definiran kao materijal za koji su načela  
mehanike tla ograničeno primjenjiva ili  
uopće nisu primjenjiva

- zeleni otpad,
- voluminozni otpad,
- komunalni kruti otpad,
- ostaci mehaničko-bioloških obrada otpada  
i sl).

# Globalna stabilnost odlagališta



- Klizna ploha
- Parametri materijala

*Karakteristična kritična klizna ploha za globalnu stabilnost odlagališta*

# Geotehnički parametri otpada

- Volumenska (jedinična) težina
- Parametri posmične čvrstoće otpada
- Parametri posmične čvrstoće brtvenih slojeva
- Parametri stišljivosti
- Vodopropusnost / plinopropusnost

# Geotehnički parametri otpada

## Jedinična težina

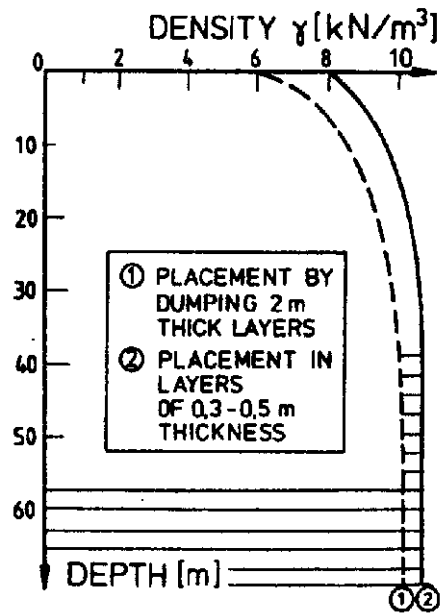


Figure 3-1: Unit weight of MSW without construction debris and excavation material ( modified after Wiemer 1982)

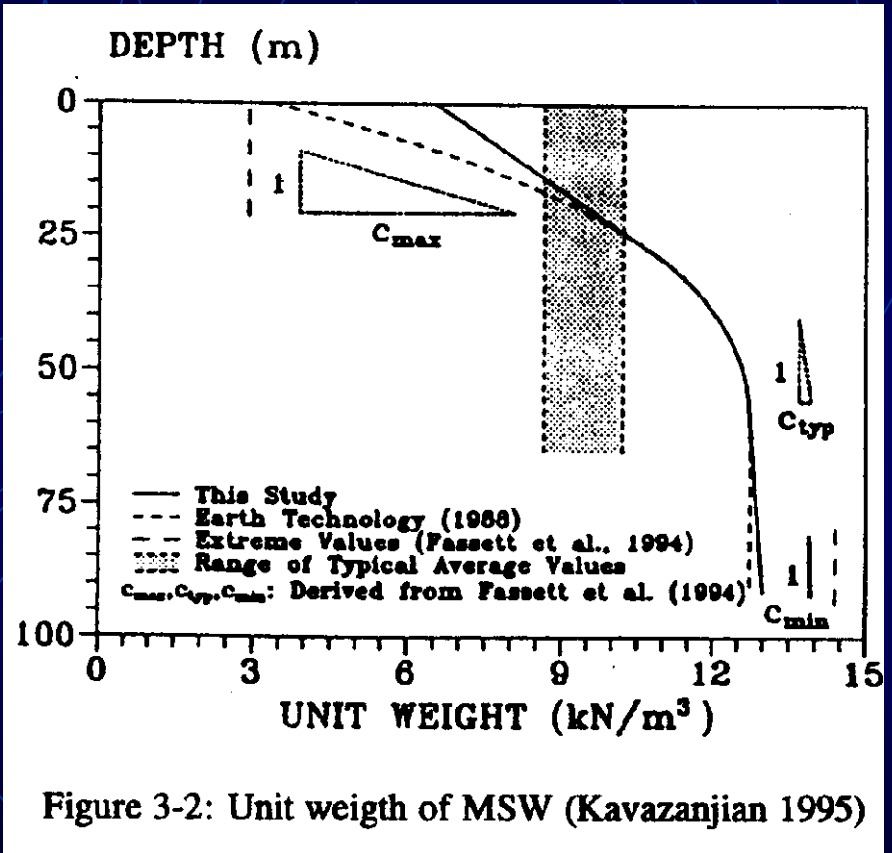


Figure 3-2: Unit weight of MSW (Kavazanjan 1995)

# Geotehnički parametri otpada

## Vlažnost

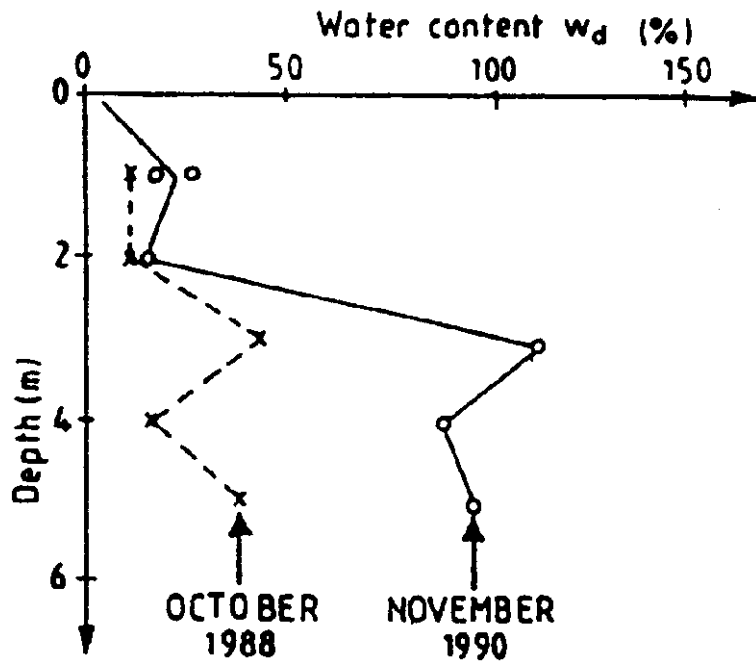


Figure 3-3: Comparison of end of dry season water content profile at Limbro park landfill, Johannesburg South Africa (from Blight et al. 1992)

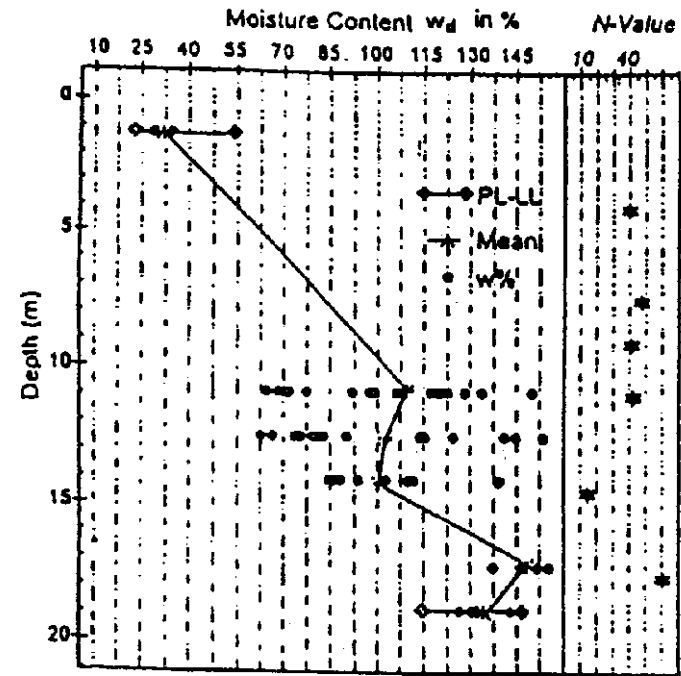
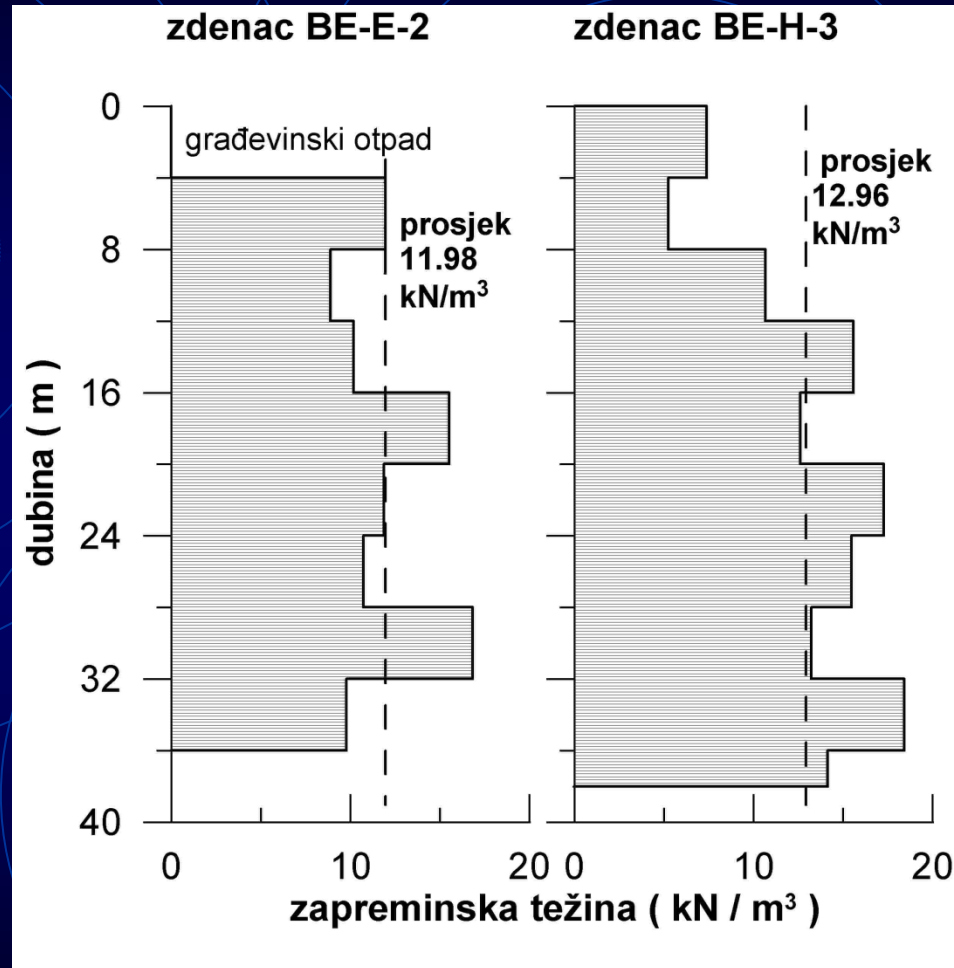


Figure 3-4: Variation of water content, liquid limits, and plastics limit with depth (Gabr & Valero 1995)

# Geotehnički parametri otpada

*Jedinična težina*

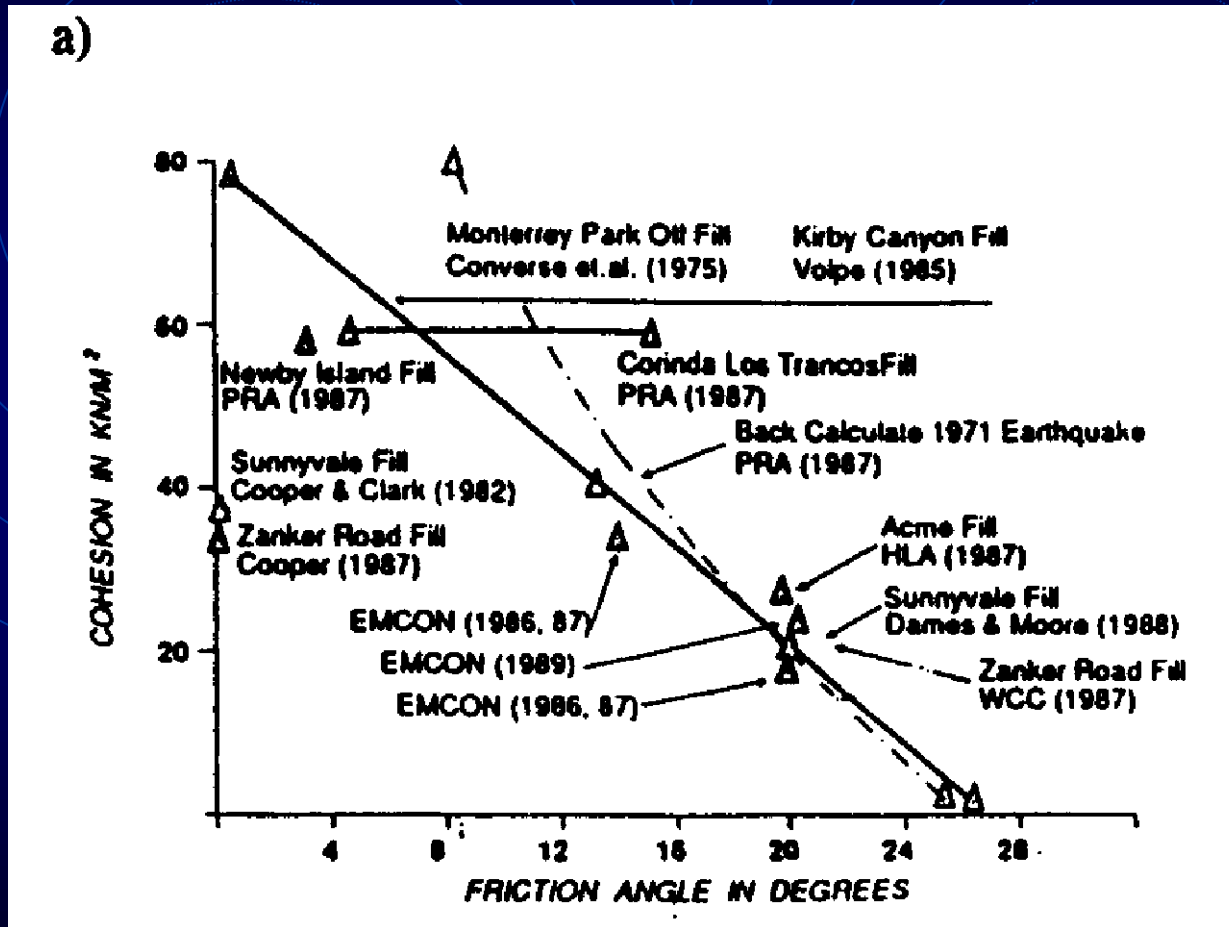
*Odlagalište  
Jakuševac*





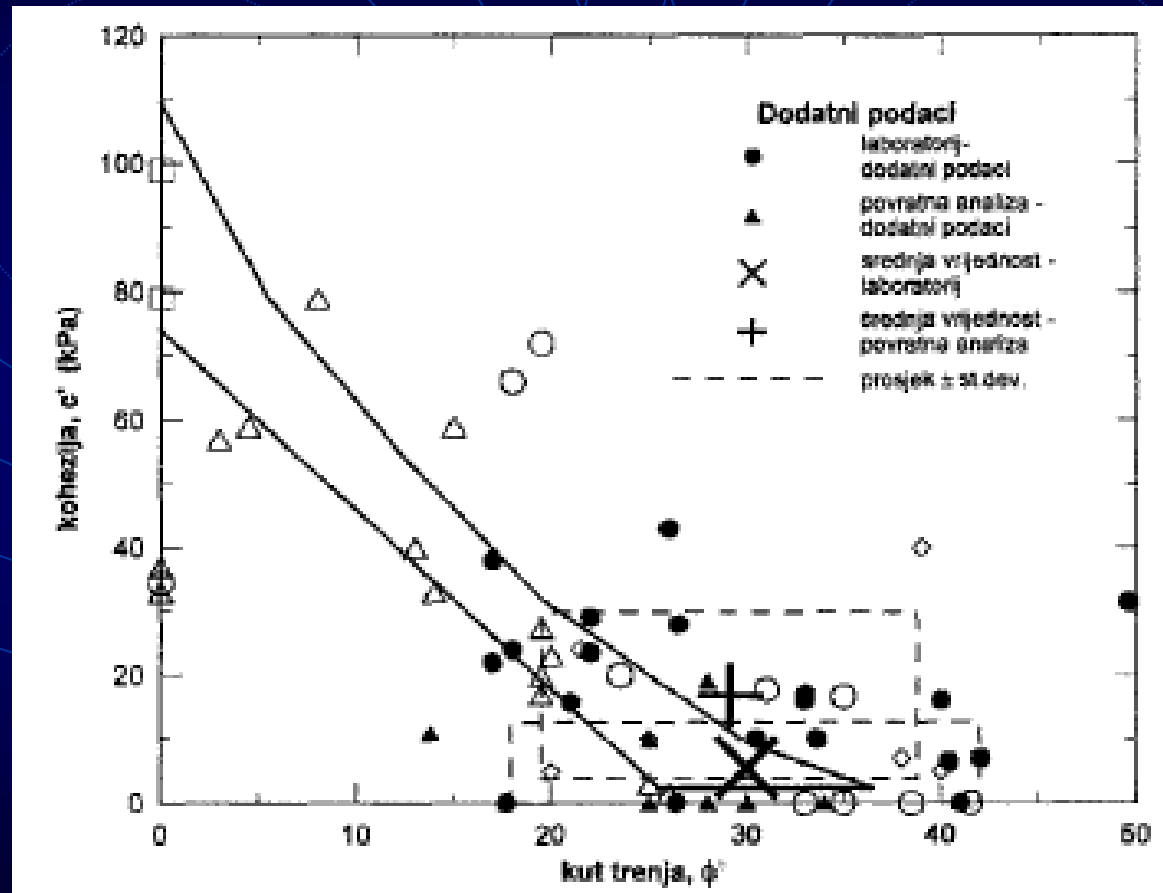
# Geotehnički parametri otpada

## Parametri posmične čvrstoće otpada



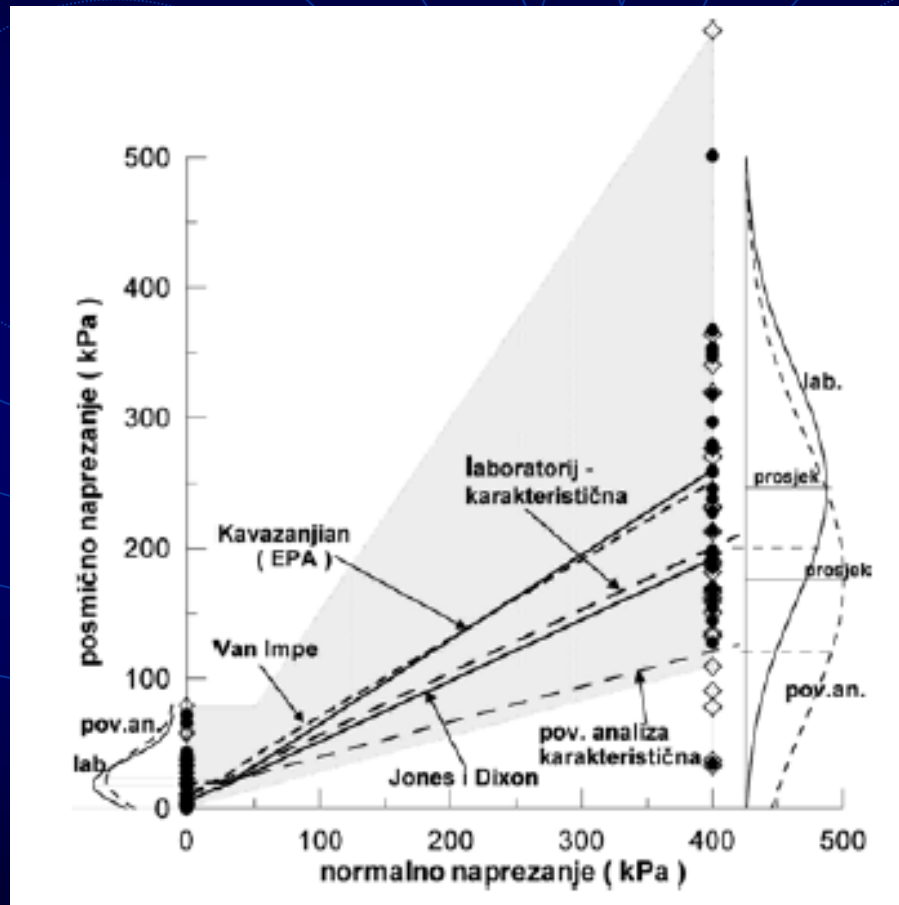
# Geotehnički parametri otpada

## Parametri posmične čvrstoće otpada



# Geotehnički parametri otpada

## Parametri posmične čvrstoće otpada



# Geotehnički parametri otpada

## Parametri posmične čvrstoće otpada

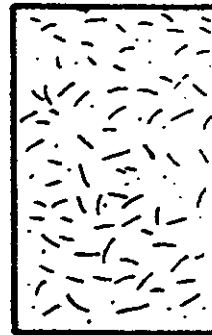
COMPOSITE  
MATRIX



MSW

=

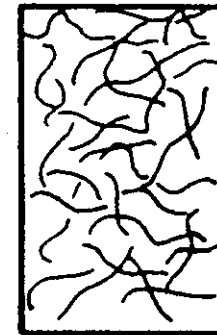
BASIC  
MATRIX



PARTICLES  
 $\leq 120$  mm

+

REINFORCING  
MATRIX



PARTICLES  
> 120 mm  
(PLASTIC, TEXTILES,  
WOOD, etc.)

Figure 3-11: Modelisation of MSW (Kockel 1995)

# Geotehnički parametri otpada

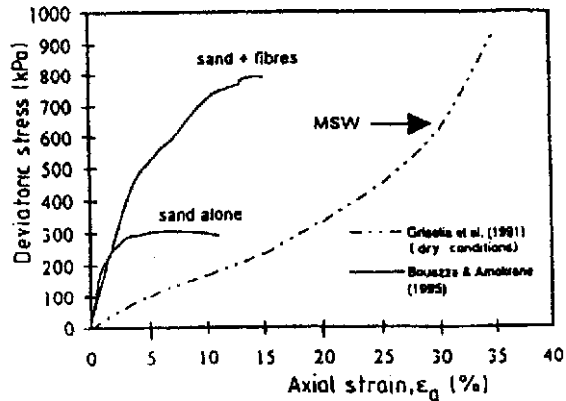


Figure 3-12: Deviatoric stress versus axial strain for various materials (Manassero et al. 1996)

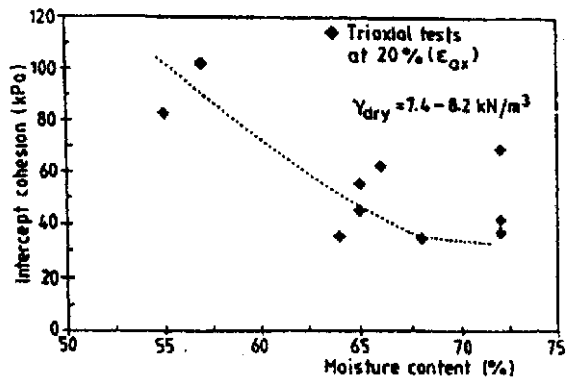


Figure 3-13: Variation of intercept cohesion as a function of moisture content (after Gabr et al., 1995)

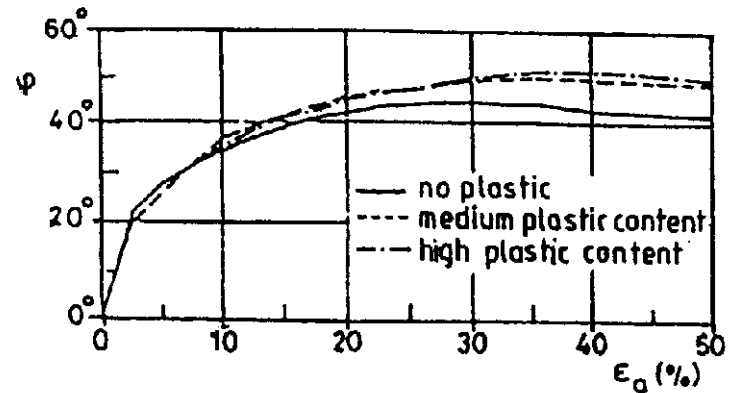


Figure 3-14: Deformation dependent activation of friction angle (Kockel & Jessberger, 1995)

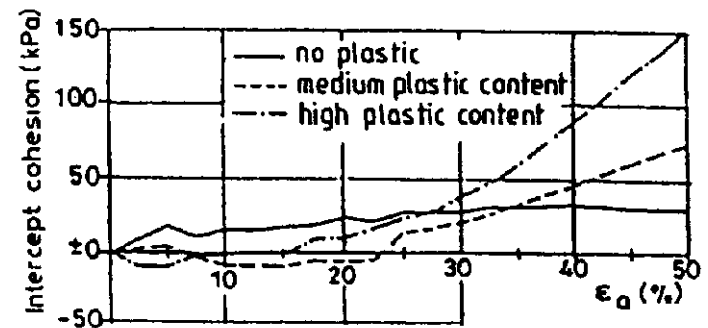


Figure 3-15: Deformation dependent activation of intercept cohesion (from Kockel & Jessberger, 1995)

# Geotehnički parametri otpada

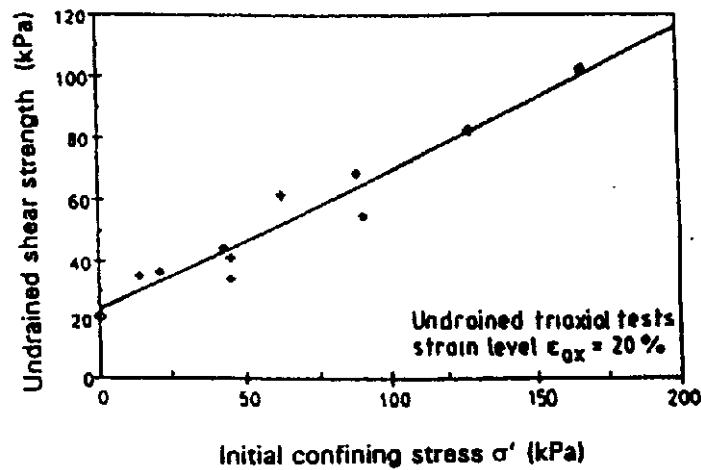


Figure 3-16: Variation of undrained shear strength versus confining pressure (Manassero et al., 1996)

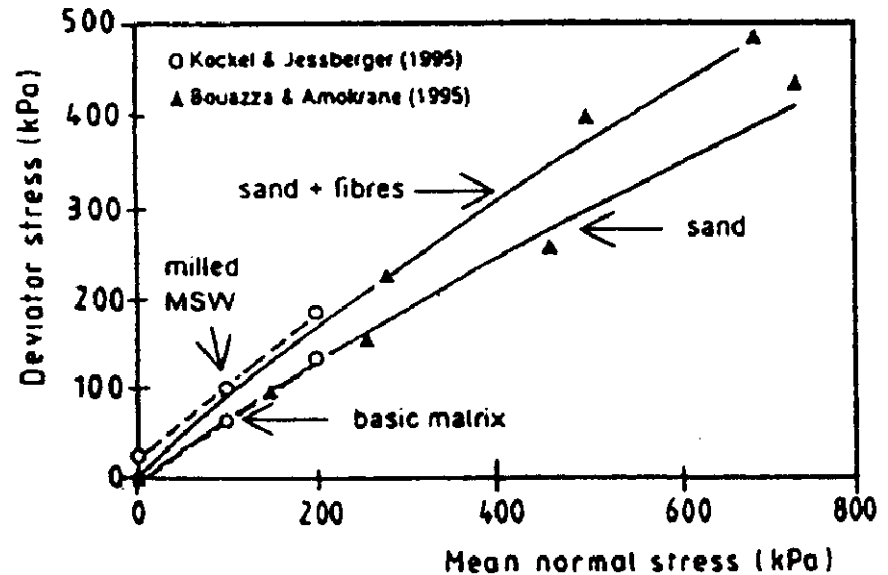


Figure 3-17: Failure strength envelope for different materials (Manassero et al. 1996)

# Geotehnički parametri otpada

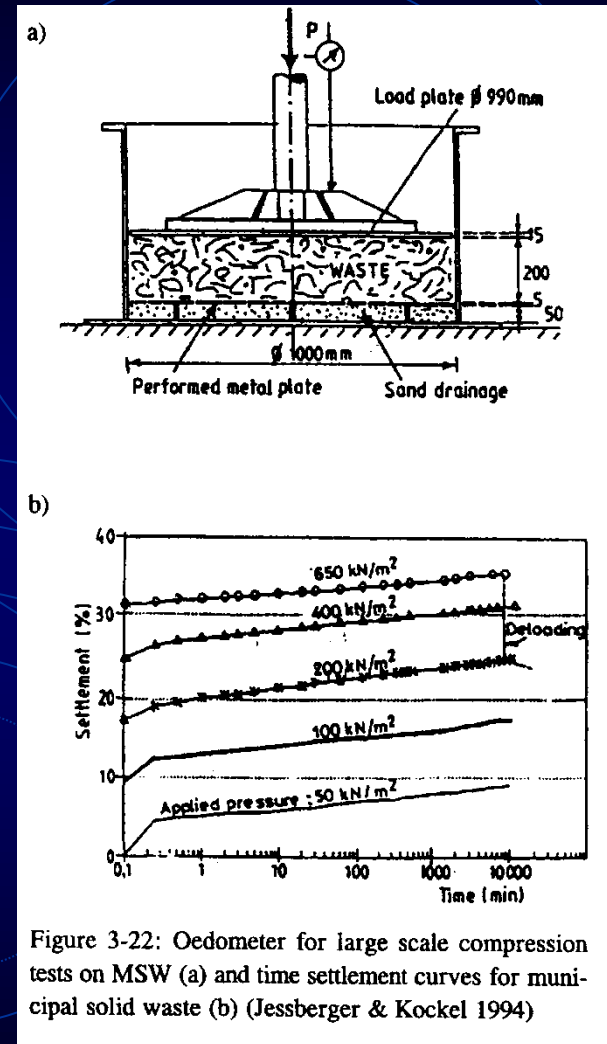
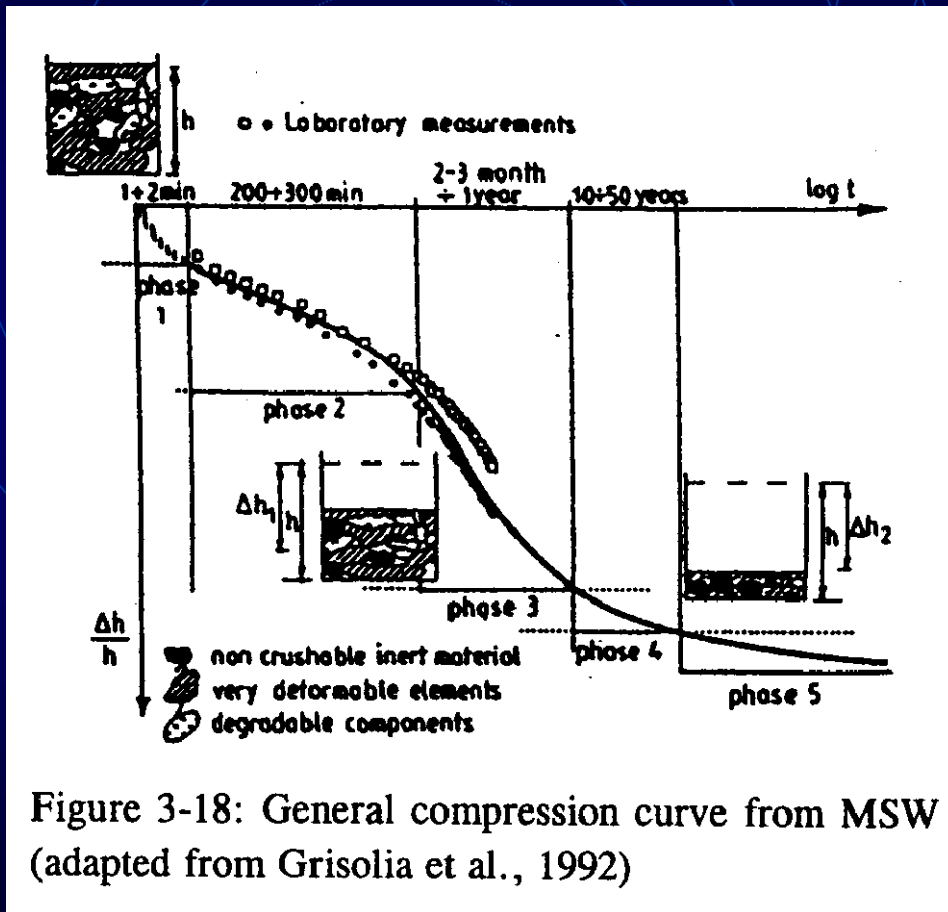
## Parametri posmične čvrstoće brtvenih slojeva

Tablica 3. Parametri posmične čvrstoće na dodirnim plohama geosintetika i tla

a) GEOSINTETIK - TLO	
geomembrana (HDPE) - pijesak	$\Phi = 15^\circ$ do $28^\circ$
geomembrana (HDPE) – glina	$\Phi = 5^\circ$ do $29^\circ$
geotekstil – pijesak	$\Phi = 22^\circ$ do $44^\circ$
bentonitni tepih – pijesak	$\Phi = 20^\circ$ do $25^\circ$
bentonitni tepih – glina	$\Phi = 14^\circ$ do $16^\circ$
hrapava HDPE – zbijena glina	$\Phi = 7^\circ$ do $35^\circ$ $c = 20 - 30$ kPa
hrapava HDPE – pijesak	$\Phi = 30^\circ$ do $45^\circ$
geotekstil - glina	$\Phi = 15^\circ$ do $33^\circ$
b) GEOSINTETIK – GEOSINTETIK	
geomreža – geomembrana (HDPE)	$\Phi = 6^\circ$ do $10^\circ$
geomembrana (HDPE) - geotekstil	$\Phi = 8^\circ$ do $18^\circ$
geotekstil – geomreža (geonet)	$\Phi = 10^\circ$ do $27^\circ$
bentonitni tepih – hrapava HDPE	$\Phi = 15^\circ$ do $25^\circ$
bentonitni tepih - geomembrana (HDPE)	$\Phi = 8^\circ$ do $16^\circ$
bentonitni tepih – bentonitni tepih	$\Phi = 8^\circ$ do $25^\circ$ $c = 8$ do $30$ kPa
hrapava HDPE – geomreža	$\Phi = 10^\circ$ do $25^\circ$
hrapava HDPE - geotekstil	$\Phi = 14^\circ$ do $52^\circ$

# Geotehnički parametri otpada

## Stišljivost





# Geotehnički parametri otpada

## Stišljivost

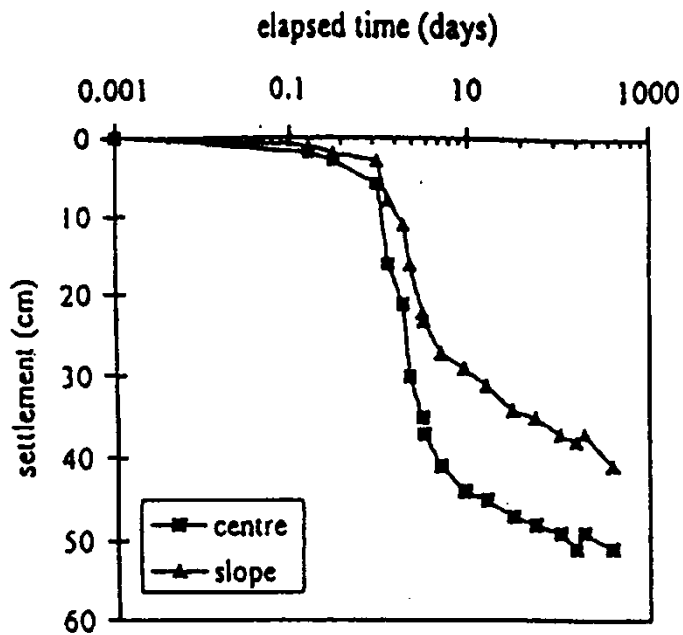


Figure 3-23: Settlement versus time for a MSW landfill (modified from Boutwell & Fiore, 1995)

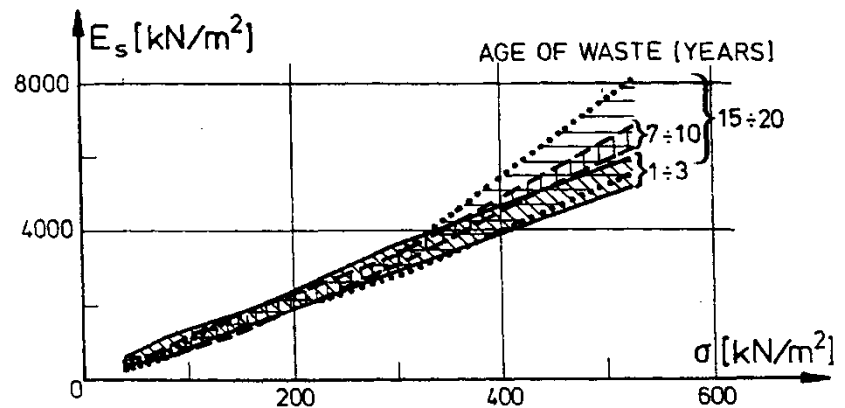


Figure 3-24: Constrained compression modulus  $E_s$  versus vertical stress observed from large scale compression tests on different types of MSW (Jessberger & Kockel, 1995)

# Slijeganja odlagališta otpada

Načelno se razlikuju:

- **početna slijeganja** koja završavaju kratko nakon nanošenja novih slojeva otpada i mogu biti pospješena učestalim prelazima vozila koja dovoze ili razastiru otpad
- **vremenska slijeganja** ( nakon konačnog opterećenja ) u kojima se razlikuju tzv. primarna i sekundarna slijeganja (primarna i sekundarna kompresija).

# Slijeganja odlagališta otpada

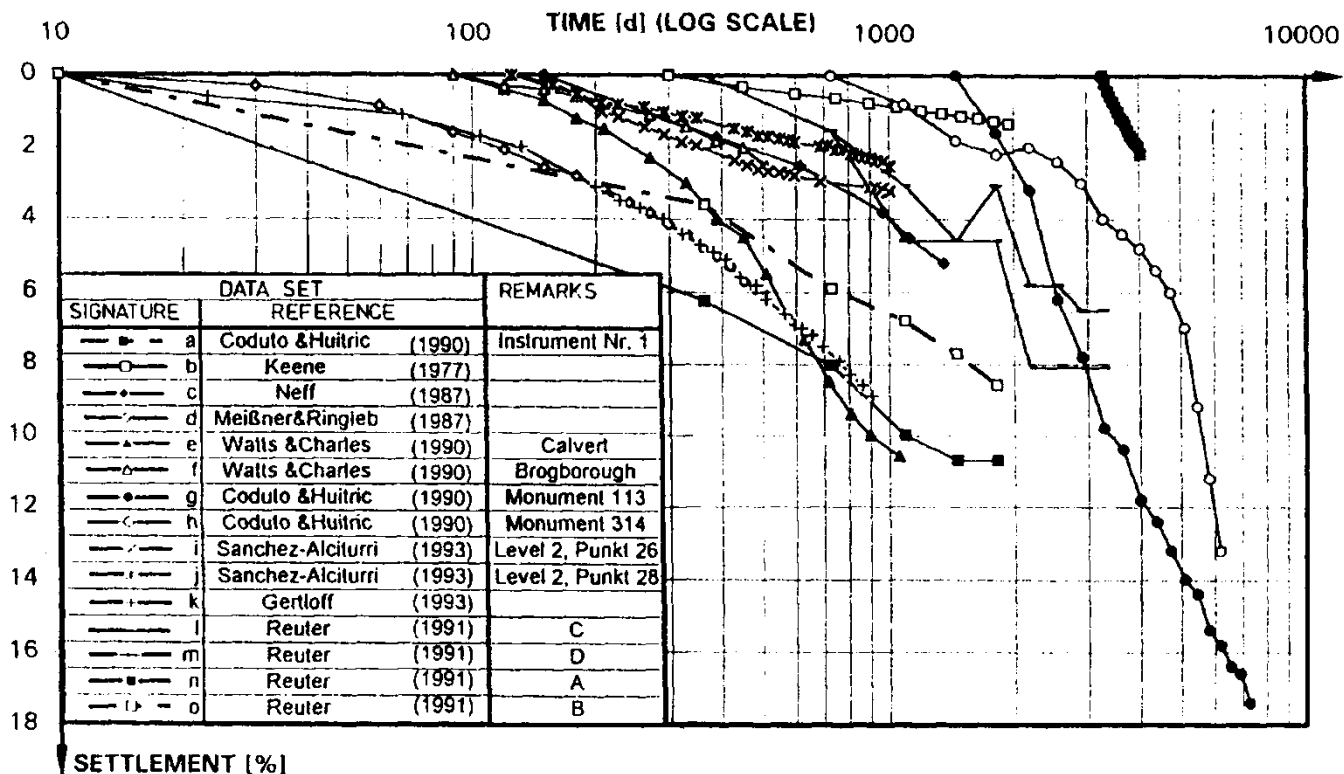


Figure 3-26: Measurements of surface settlement of different landfills (König et al. 1996)

# Slijeganja odlagališta otpada 2

