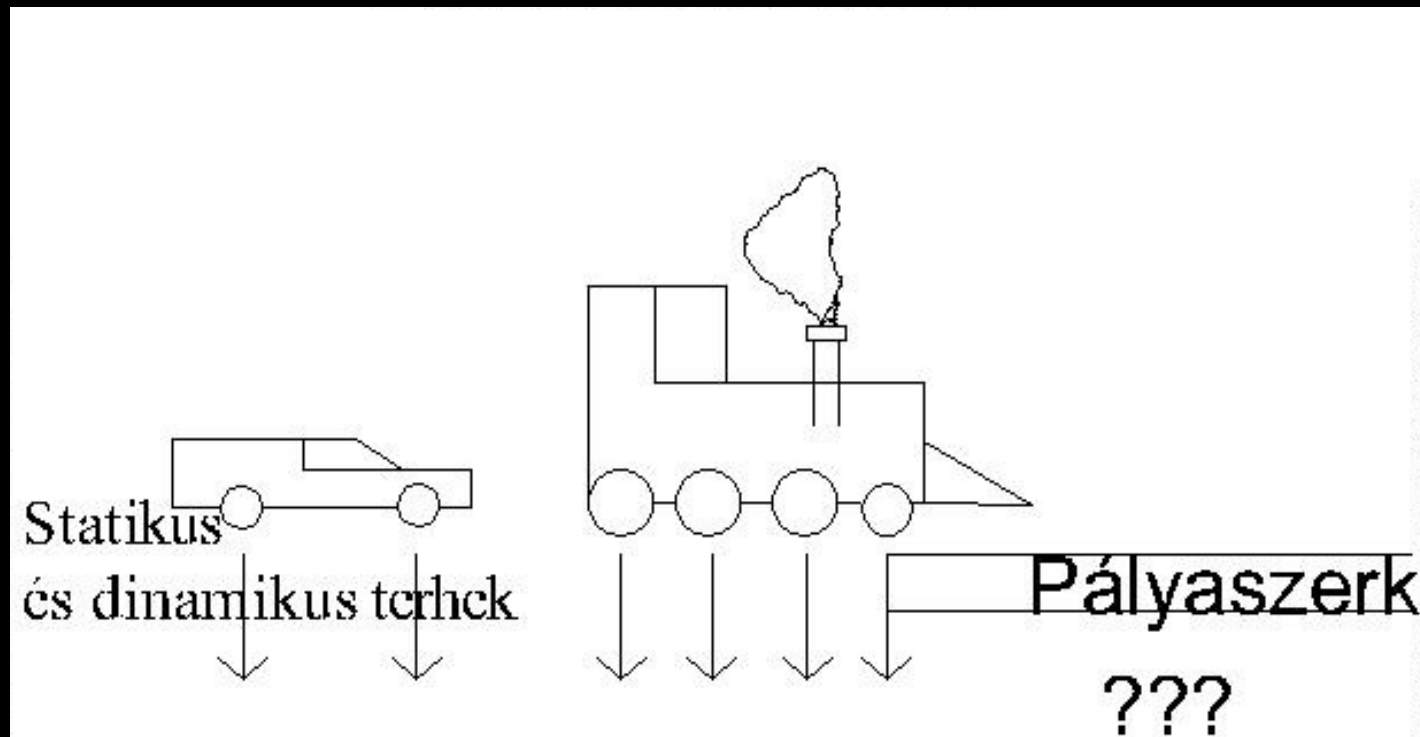


KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



↑
Talaj termett, vagy töltés

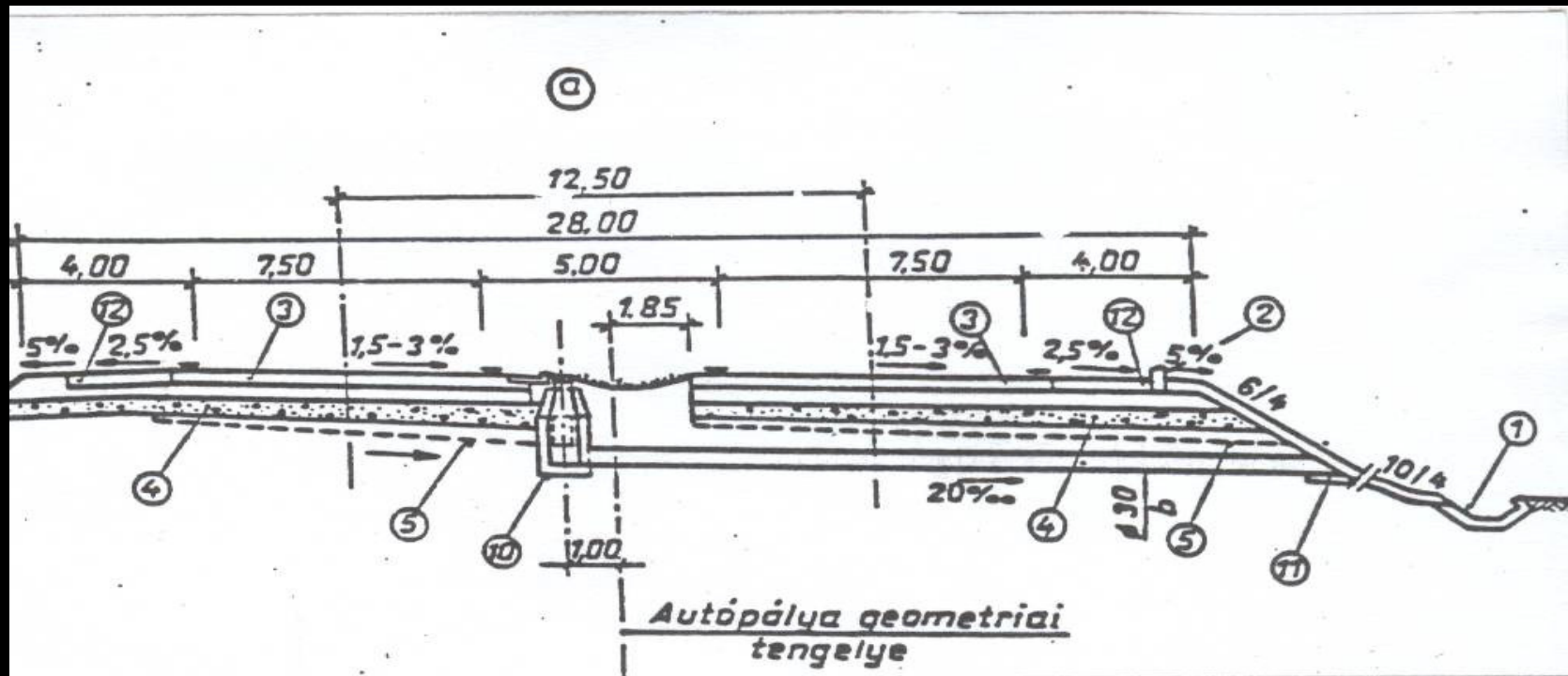
KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

- ◆ Közúti pályák
- ◆ Vasúti pályák
- ◆ Repülőterek kifutó és guruló pályái
- ◆ Nagyterhelésű parkolók, kamion terminálok, rakodó területek
- ◆ Viziutak és hajózó csatornák (Duna- Majna-Rajna csat)

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Földmű (közúti, vasúti pályáknál)

A teljes töltéstest, a bevágások mesterséges rézsűi, padkák, a pályaszerkezet alatti tömörített rétegek



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



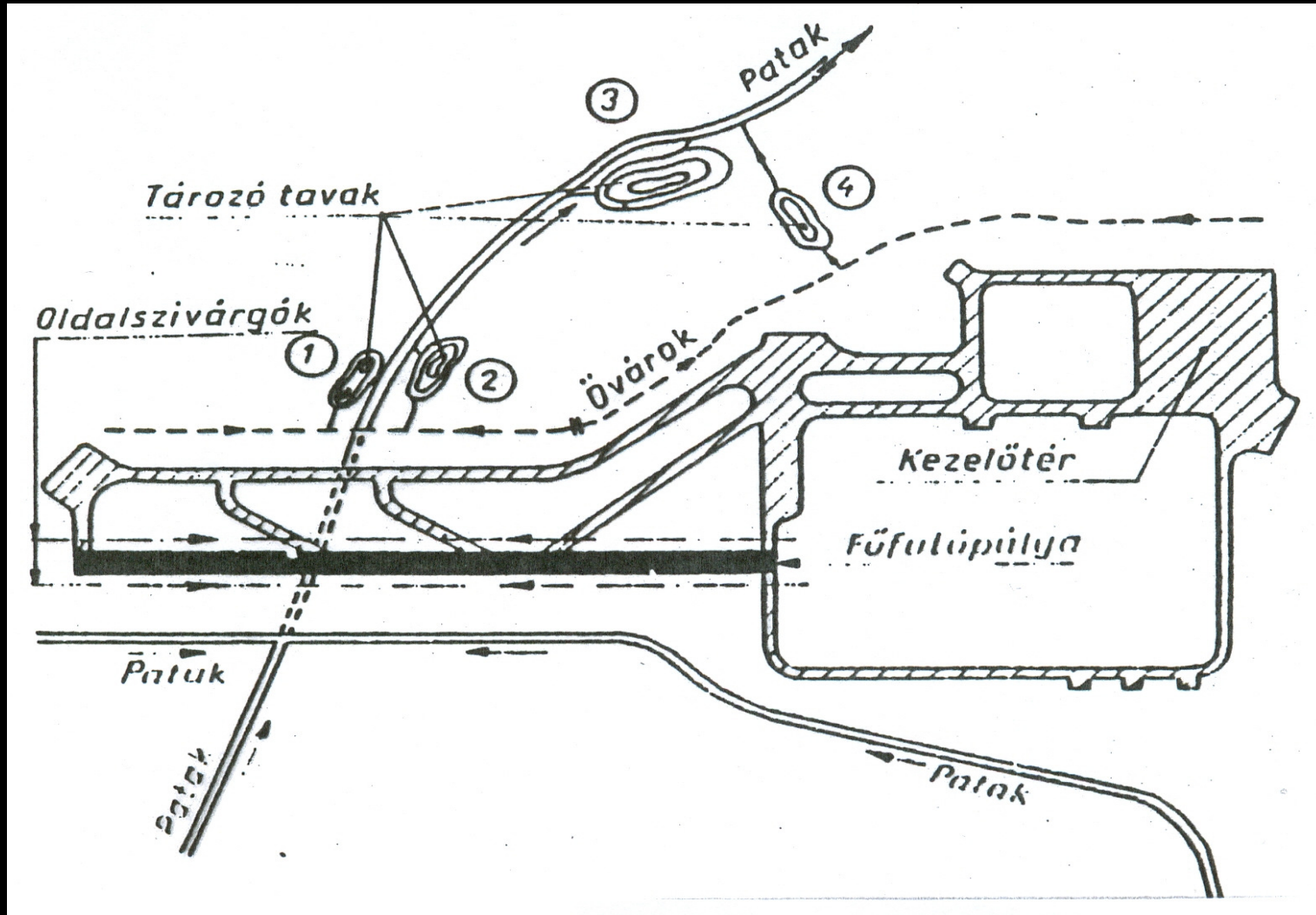
KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



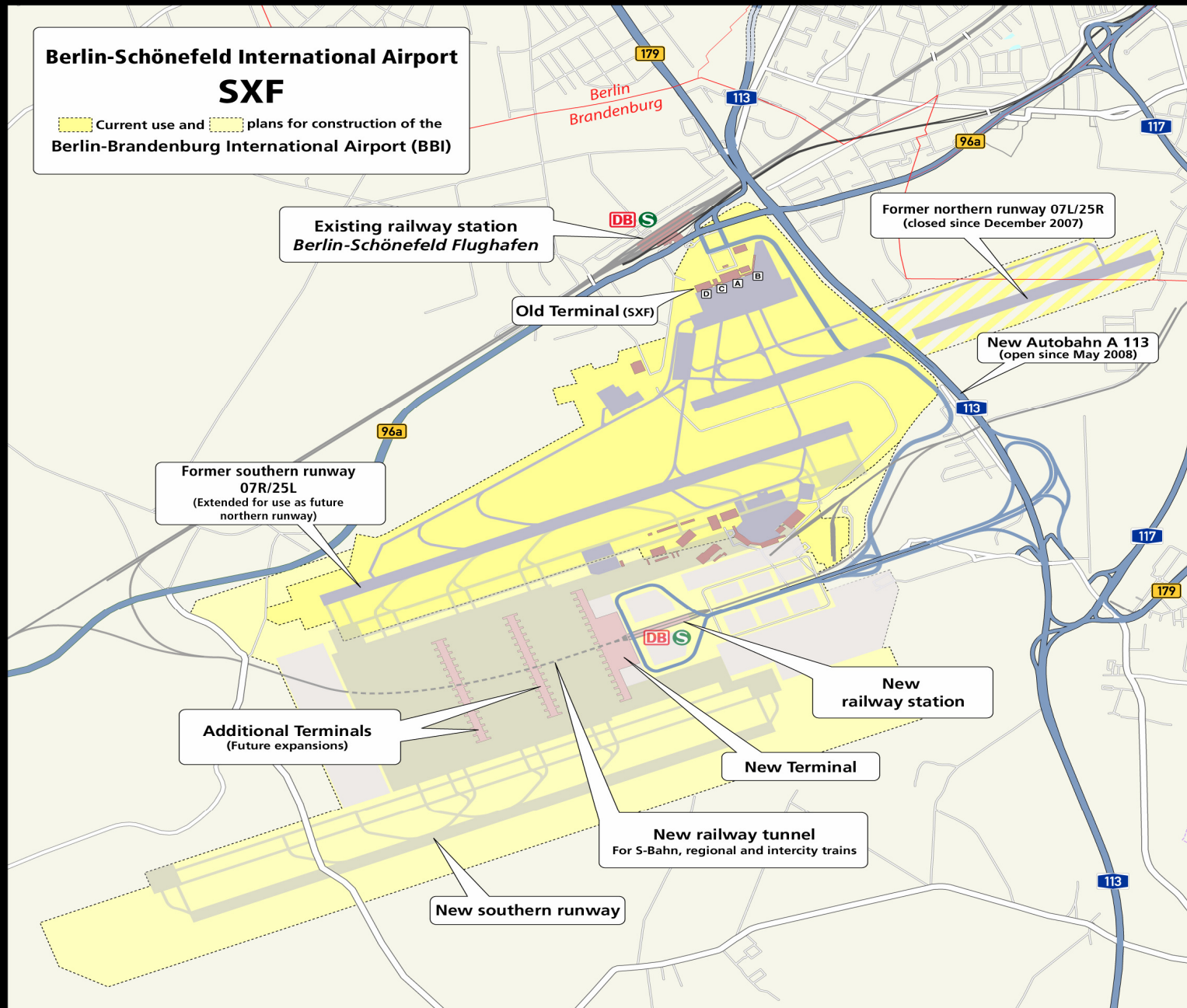
KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Frankfurt



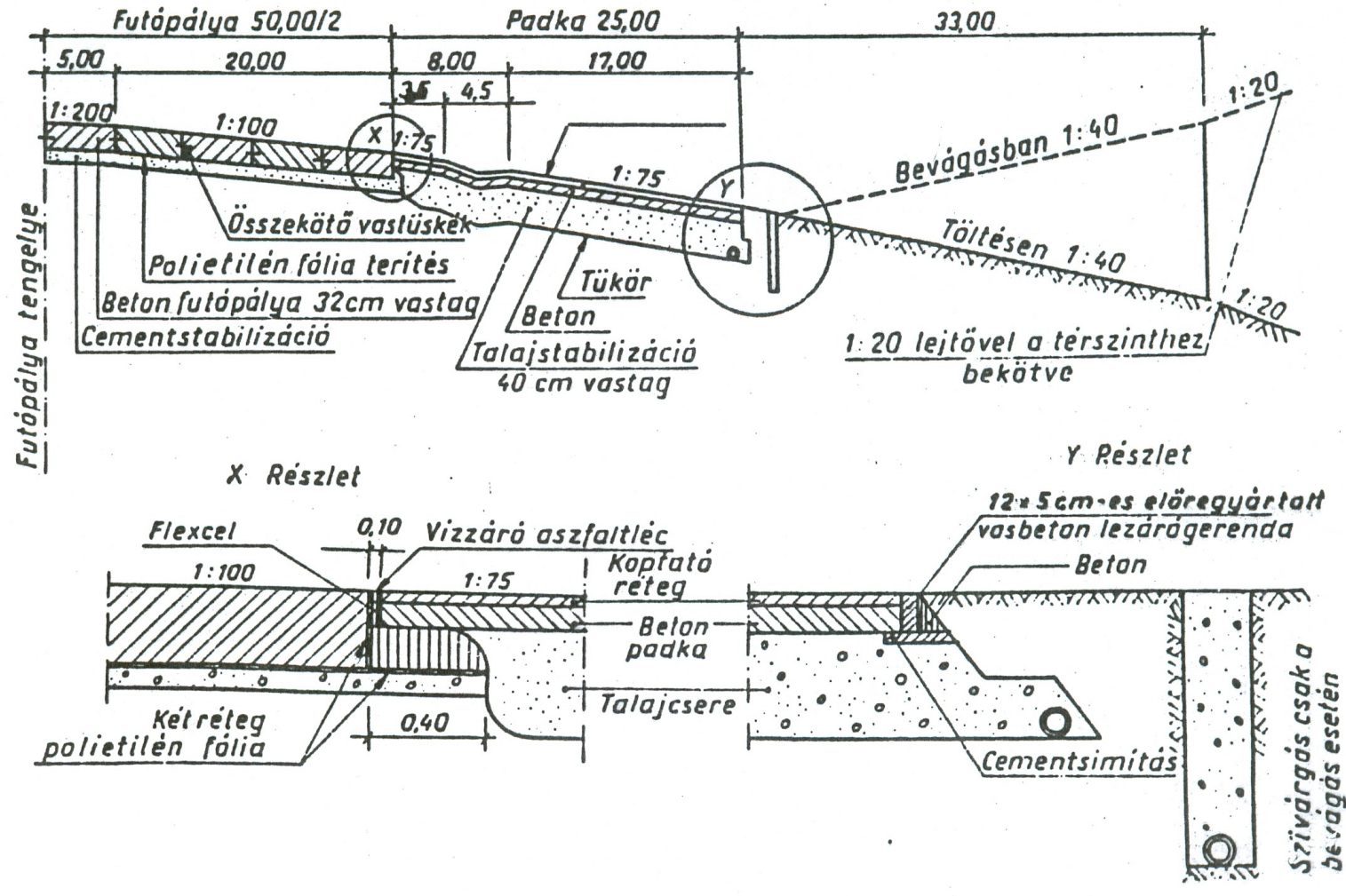
KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Frankfurt, építés



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Torzított léptekű keresztmetszet a futópályáról



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



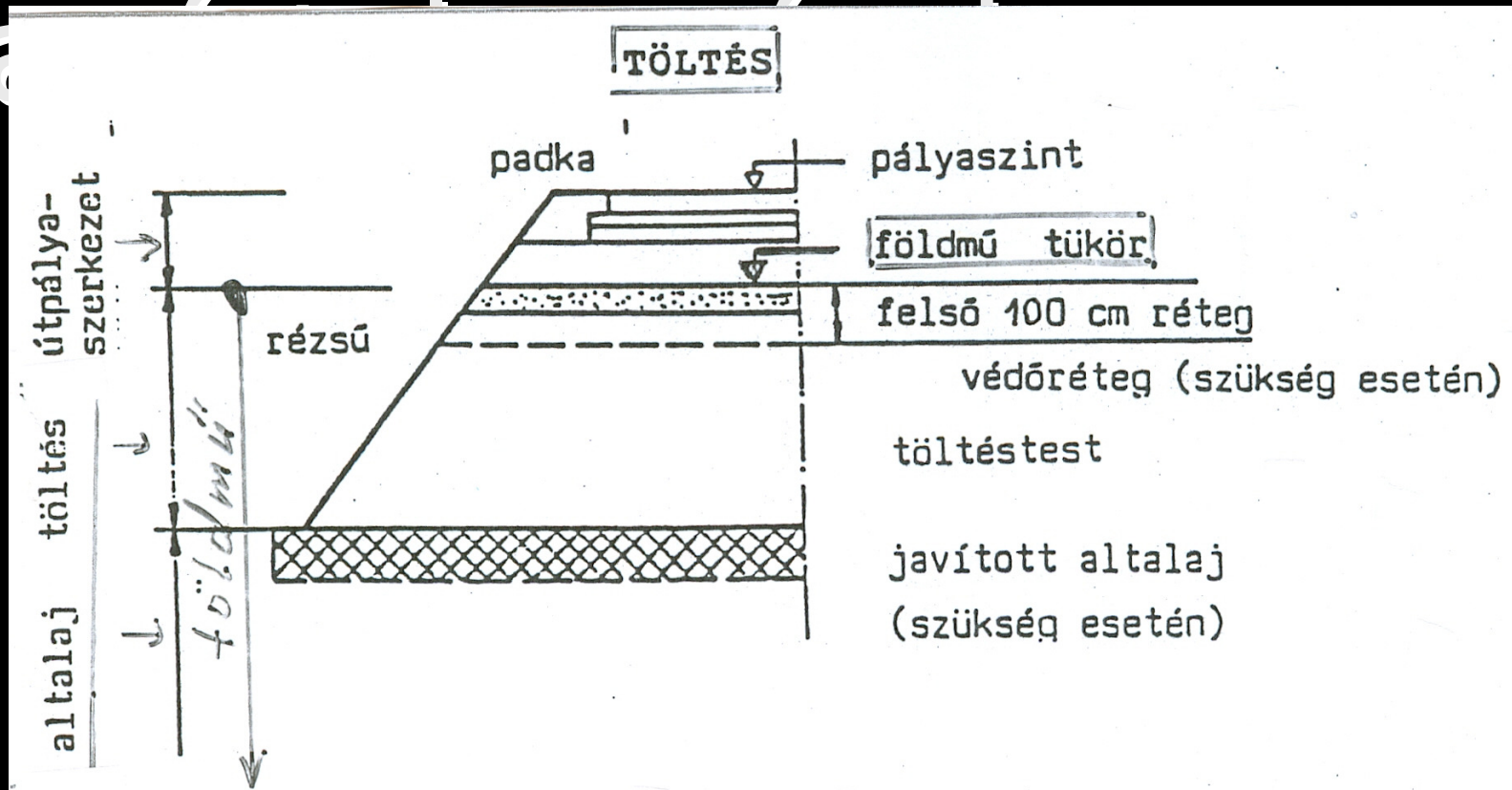
www.Frankenair.de

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

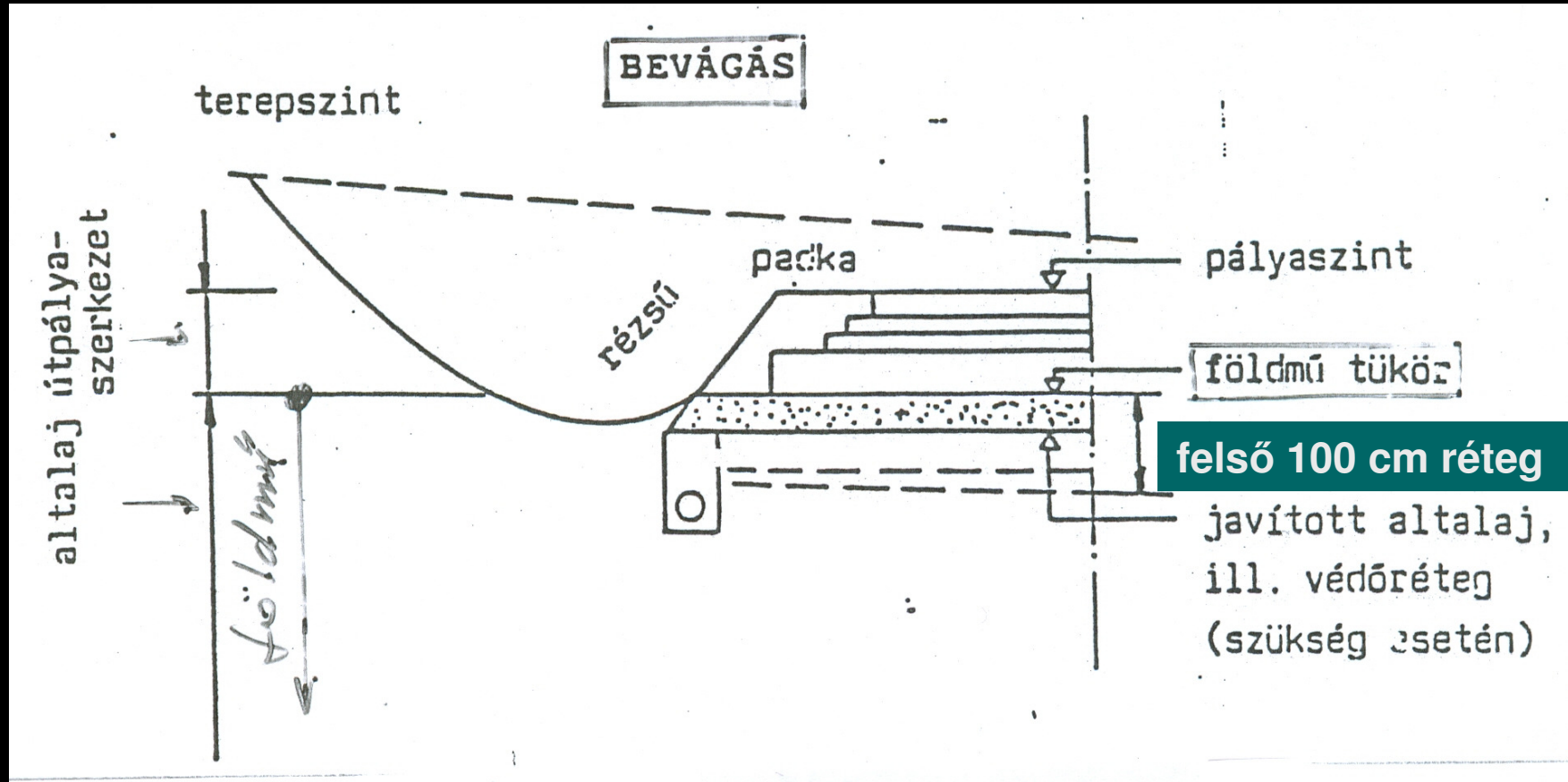


KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Al



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

A KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁKAT ÉRŐ HATÁSOK

Mechanikai hatások

függőleges statikus terhek

függőleges dinamikus terhek

vízszintes erőhatások (pl. fékezőerőkből)

Klimatikus hatások

víztartalom változásból

fagyhatás

olvadási problémák fagyhatás után

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Téma: Földművek tervezése

MSZ EN 1997-1 EUROCODE 7; e-ÚT 06.02.11, (ÚT 2-1.222)

- ◆ Alapfogalmak
- ◆ Milyennek kell lenni egy megfelelően tervezett földműnek
- ◆ Milyen befolyásoló tényezőket kell figyelembe venni a tervezésnél
- ◆ Geotechnikai kategóriák
- ◆ Talajfeltárási követelmények, talajadottságok
- ◆ Milyen szinten mit és mennyit (cél, módszer, tartalmi követelmények)
- ◆ A szükséges és elégséges laborvizsgálatok meghatározása
- ◆ A talajkörnyezet meghatározása
- ◆ Tervezési állapotok meghatározása
- ◆ A földművek tervezésének módszerei
- ◆ A geotechnikai dokumentációk fajtái, azok szükséges tartalma
- ◆ Példák, esetek

**A geotechnikai tevékenység
alapszabványa:**

**MSZ EN 1997-1; Geotechnikai
tervezés**

DR. KOVÁCS MIKLÓS

-MSZ EN 1997-1:2006, EUROCODE 7-1:

Általános szabályok

-MSZ EN 1997-1:2007/8, EUROCODE 7-2:

Geotechnikai vizsgálatok

Útépítési földműveknél

e-UT 06.02.11. (ÚT 2-1.222:2007)

- Az MSZ EN 1997-1 (EUROCODE 7) alapjaira épülve került átdolgozásra 2007-ben

- „Előírás”, amely ugyanakkor a geotechnika jellegéből adódóan a tervezés módjára általában irányelveket ad meg, a konkrét megoldásokra széles választási lehetőséget kínál.

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Alapfogalmak földművek tervezésénél

Geotechnikai kategória: 1-3.

A besorolás alapja:

milyen földművet építünk

talaj- és talajvíz helyzet

geotechnikai beavatkozások bonyolultsága

környezeti kölcsönhatások

1. **geotechnikai kategória:** egyszerű, kevés kockázattal járó tervezési feladatok esetén
2. **geotechnikai kategória:** átlagos nehézségű és kockázatos tervezési feladatok esetén
3. **geotechnikai kategória:** különleges szakértelmet kívánó, nagy kockázatos munkák, tervezési feladatok esetén

Geotechnikai dokumentációk

1. Talajvizsgálati jelentés

Feltárások, labor és egyéb vizsgálatok eredményeinek ismertetése az adott tervfázisnak megfelelő részletességgel

2. Geotechnikai szakvélemény

Feltárások és vizsgálatok eredményeinek, valamint a lehetséges geotechnikai problémák és megoldásuk ismertetése az adott tervfázisnak megfelelő részletességgel

3. Geotechnikai terv

Valamely projekt **geotechnikai feladadainak megoldására** alkalmazott **szerkezetek és eljárások rajzi és szöveges bemutatása** az adott tervfázisnak megfelelő részletességgel (új tervfajta a geotechnikában)

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Talajfelderítés, talajmechanikai vizsgálatok közlekedési pályák földműveihez

A. Anyagnyerőhelyre vonatkozó vizsgálatok

- a földműépítésre való alkalmasság, fejtési osztály, tömörítési osztály megállapítása
- be és nem beépíthető talajok térbeli elhelyezkedésének, tömegének meghatározása
- előzetes tömörítési vizsgálatok
- talajok esetleges kezelési szükségességének vizsgálata
- környezeti hatások vizsgálata
- rekultiváció

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

B. A földmű területén és környezetében végzendő vizsgálatok

- a földmű rézsűinek, valamint a környező terep és építmények állékonyságának vizsgálata
- a talaj és rétegvizek építés előtti helyzetének, valamint a víz és a földmű kölcsönhatásának a vizsgálata
- az altalaj teherbírása és összenyomhatósága a töltés alatt, a földműre helyezett, vagy abba épített szerkezetek állékonysága, mozgásai
- felszíni vizek hatása
- fagyveszély kérdése
- védő és támasztóművek létesítése

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

C. Különleges vizsgálatok

- **süllyedés, tömörödés, alakváltozás és elmozdulások mérése**
- **pórusvíznyomások mérése**
- **teherbírás, nyírószilárdság meghatározása**
- **a pályaszerkezet alatti földmű teherbírásának a minősítése (CBR, E_2)**
- **tömörség és tömörítés kérdései**
- **fagy, olvadási károk, térfogatváltozási problémák**

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

FÖLDMŰVEK TEHERBÍRÁSA

A tömörség és a teherbírás kapcsolata

A földmű alakváltozásai a földmű megfelelő *tömörítésével* kiküszöbölhetők, vagy jelentősen csökkenthetők.

A tömörítés *hatásos* végrehajtásához szükséges feltételek

- talajfizikai állapot
- tömörítő eszköz technikai jellemzői
- a tömörítés módja
- a talaj terítési rétegvastagsága

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

A jó minőségű tömörítést biztosító, elvégzendő teendők:

A. A talaj szükséges tömörségének meghatározása

B. A szükséges (elérendő) tömörséget lehetővé tevő tömörítő eszközök és módszerek kiválasztása

C. A kivitel során folyamatos és gyors eredményt adó ellenőrzés alkalmazása

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

ρ_{dmax} megállapítása egyszerű ill.
módosított Proctor-kísérlettel

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Tömörségi fok

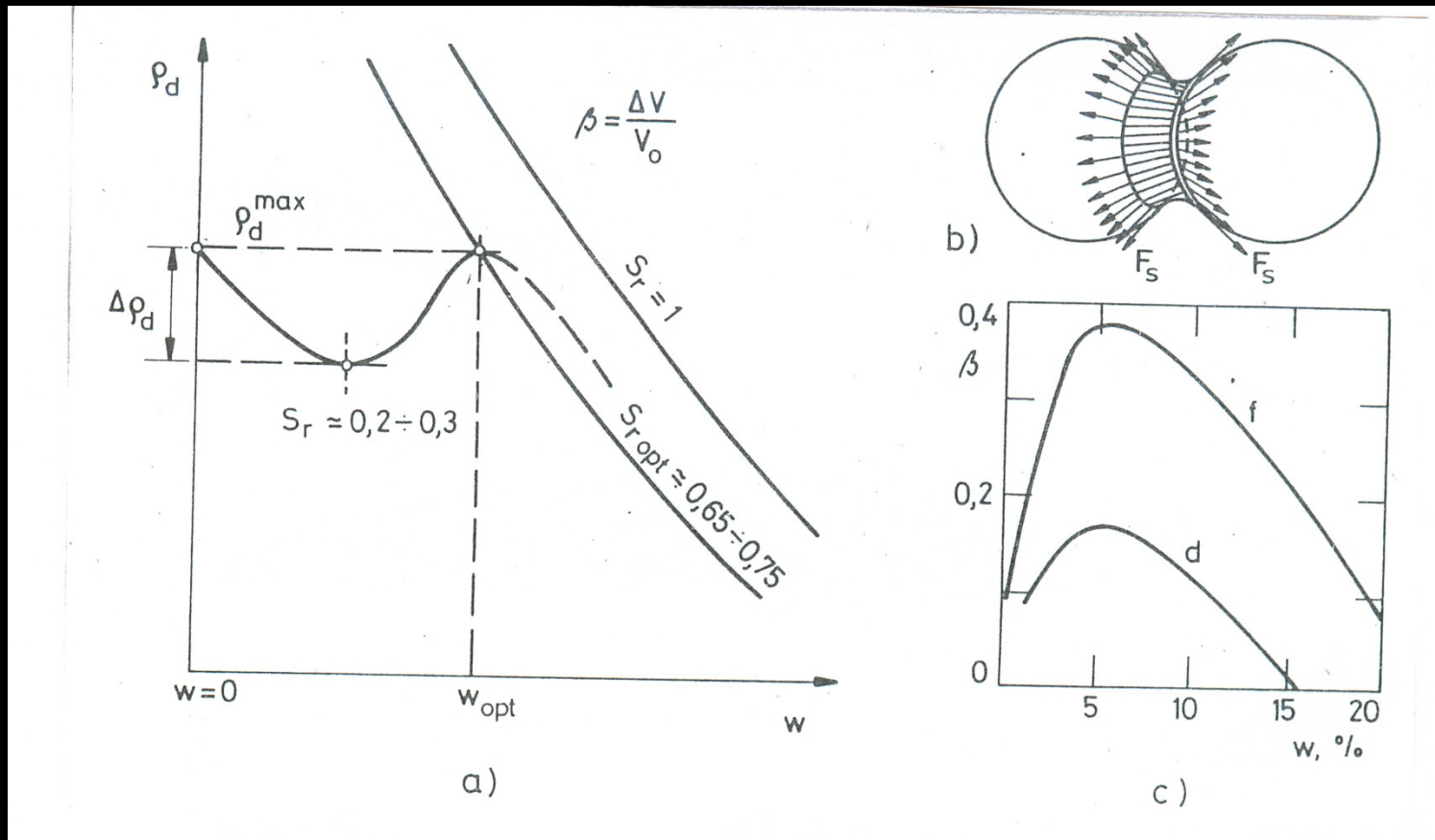
$$T_{\rho_d} = \left(\frac{\rho_d}{\rho_{dmax}} \right) \cdot 100$$

ahol

ρ_d a vizsgált réteg száraz
térfogatsűrűsége

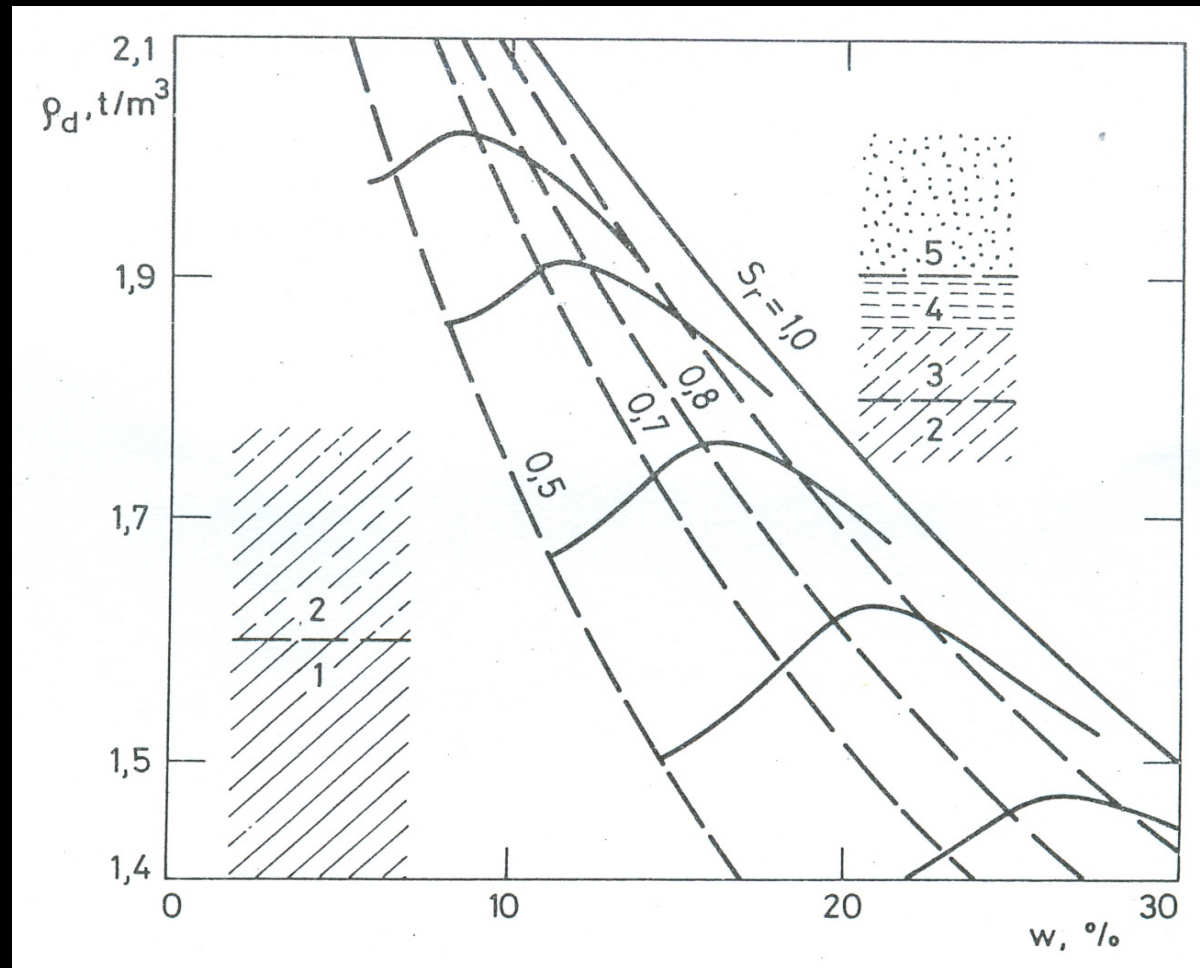
ρ_{dmax} a talaj legnagyobb száraz
térfogatsűrűsége (MSZ EN 13 286-
2)

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



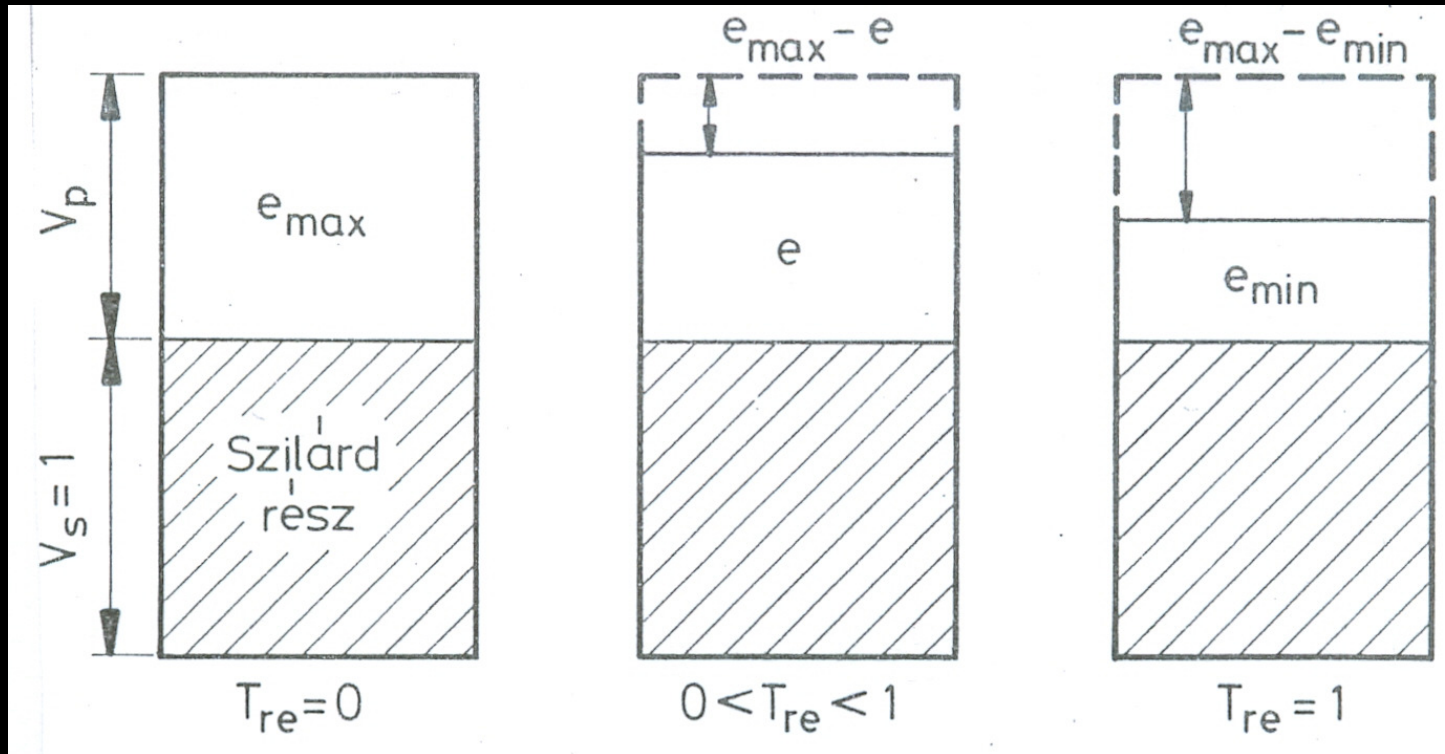
Tömörítési görbe

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



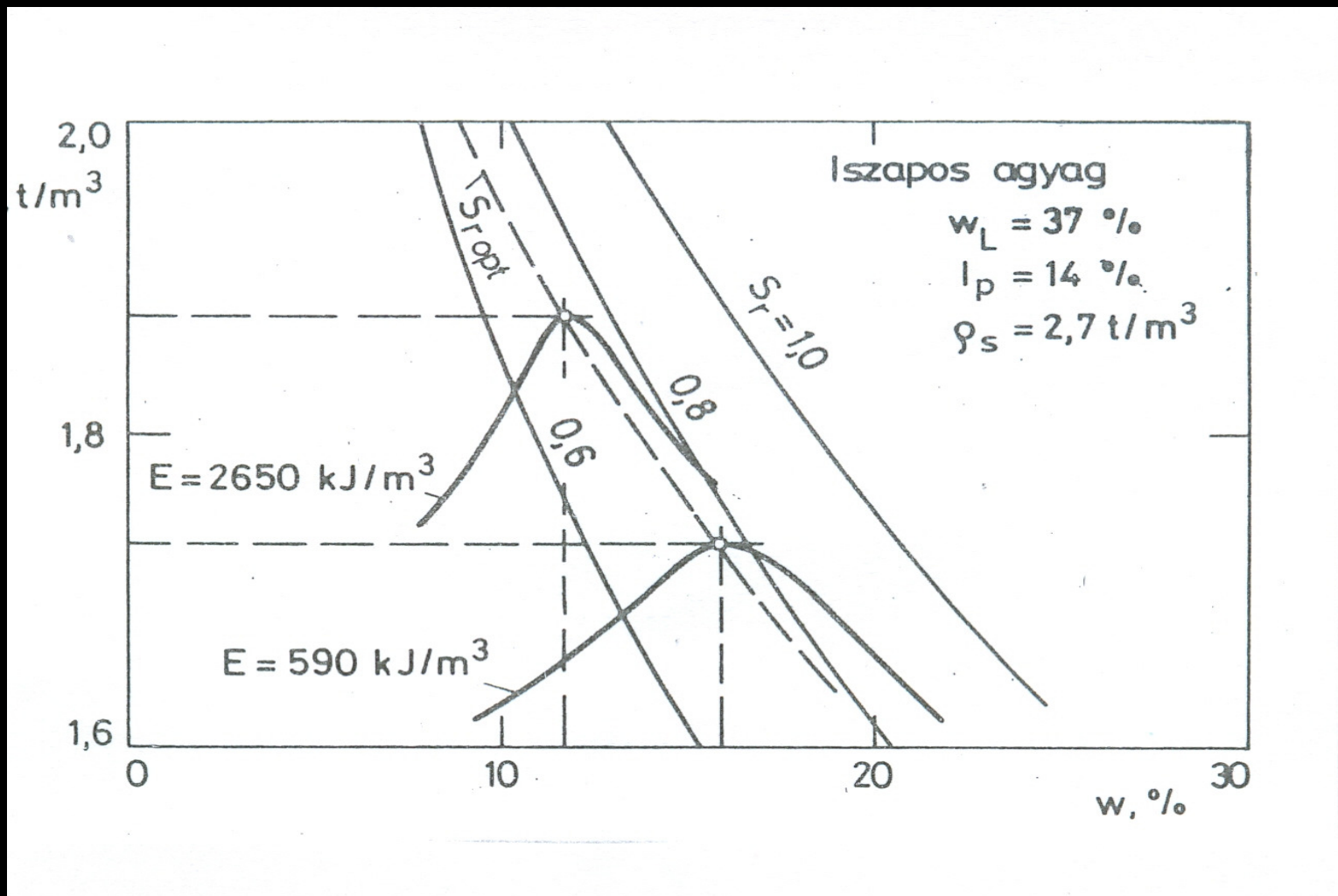
Különböző talajok tömörítési görbéi

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

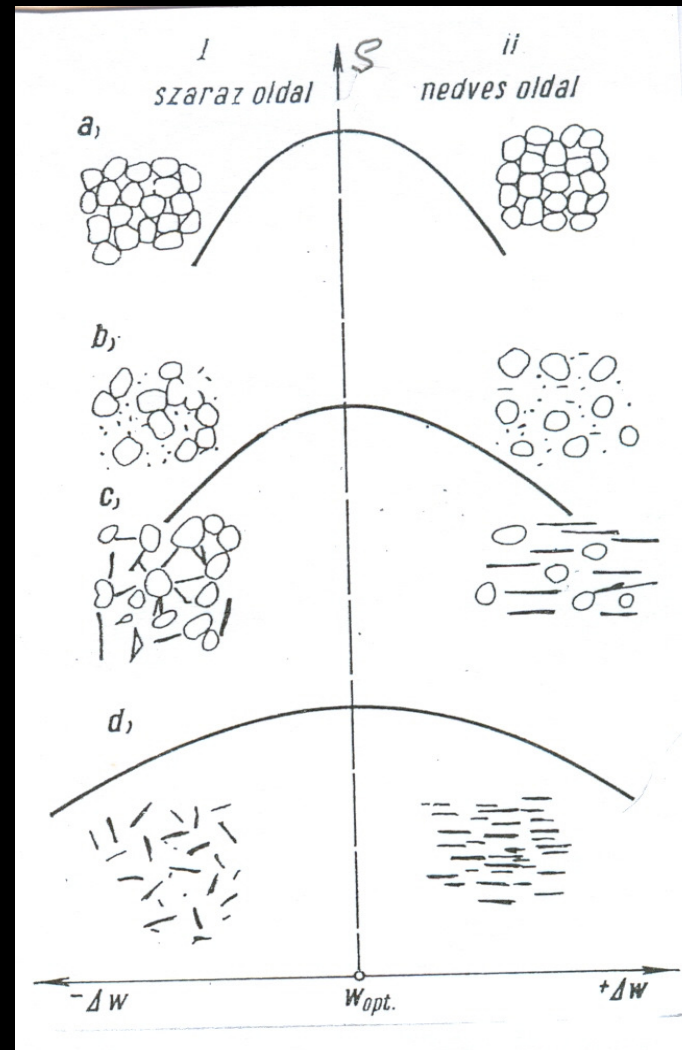


Relatív tömörség

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

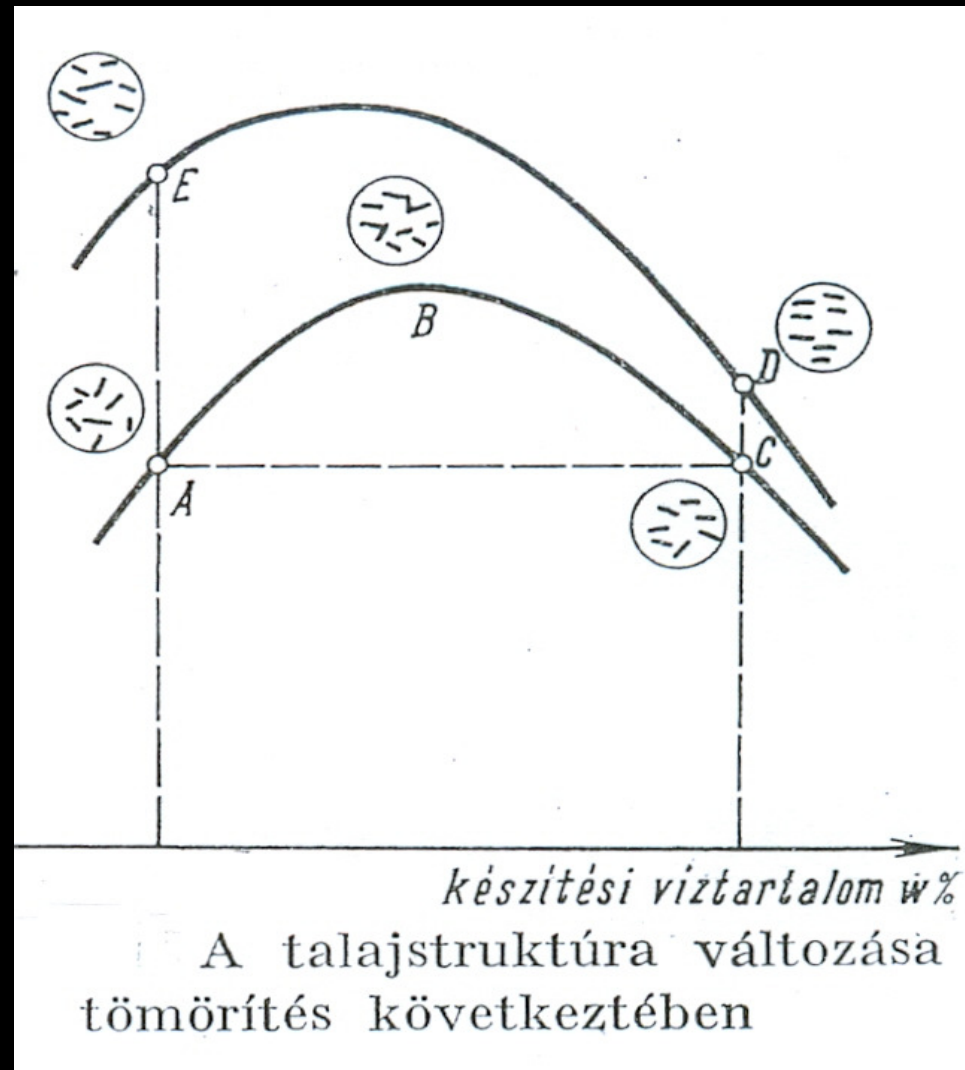


KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

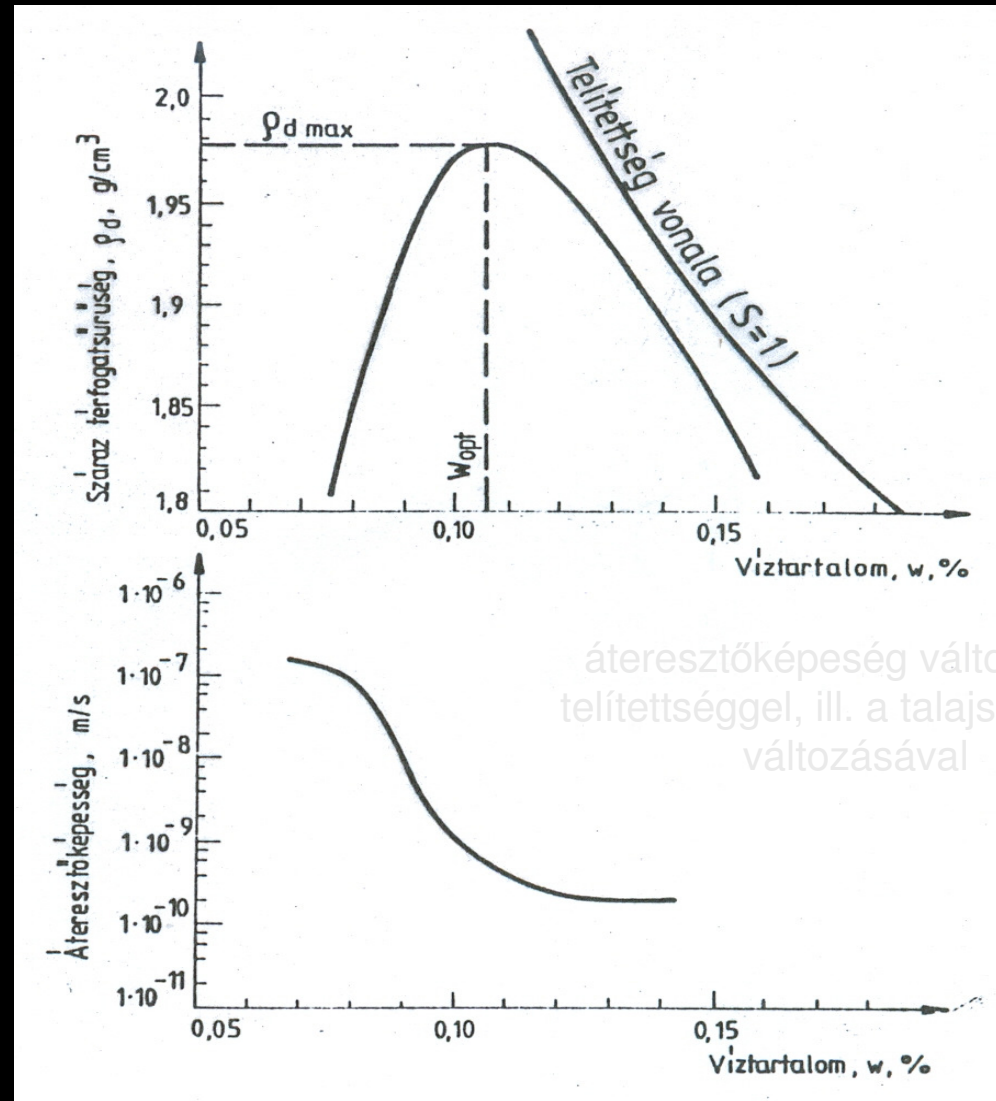


Tömörítés hatása a talajszerkezetre

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

A tömörítést befolyásoló tényezők

A tömörítési mód hatása

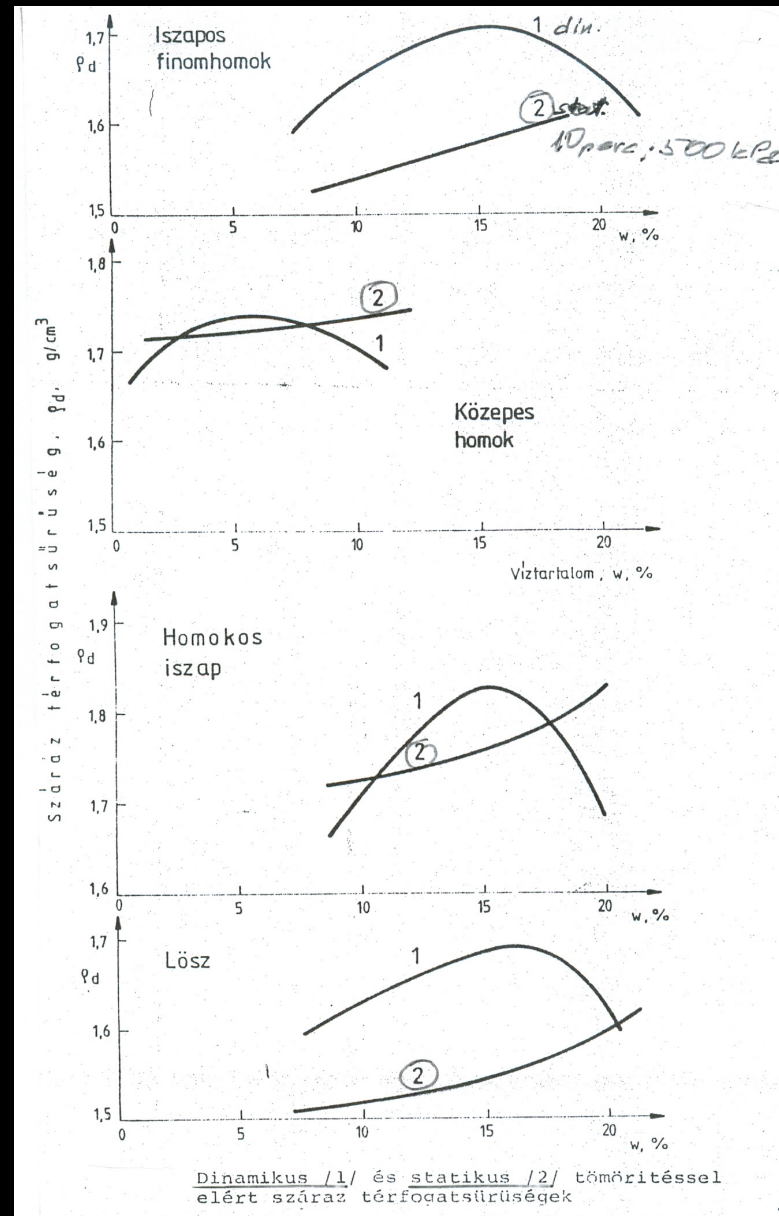
Dinamikus: - alapvetően döngölés,
összenyomódás pillanatnyi nagy
erőhatásra

- vibrálás, statikus erőhatással

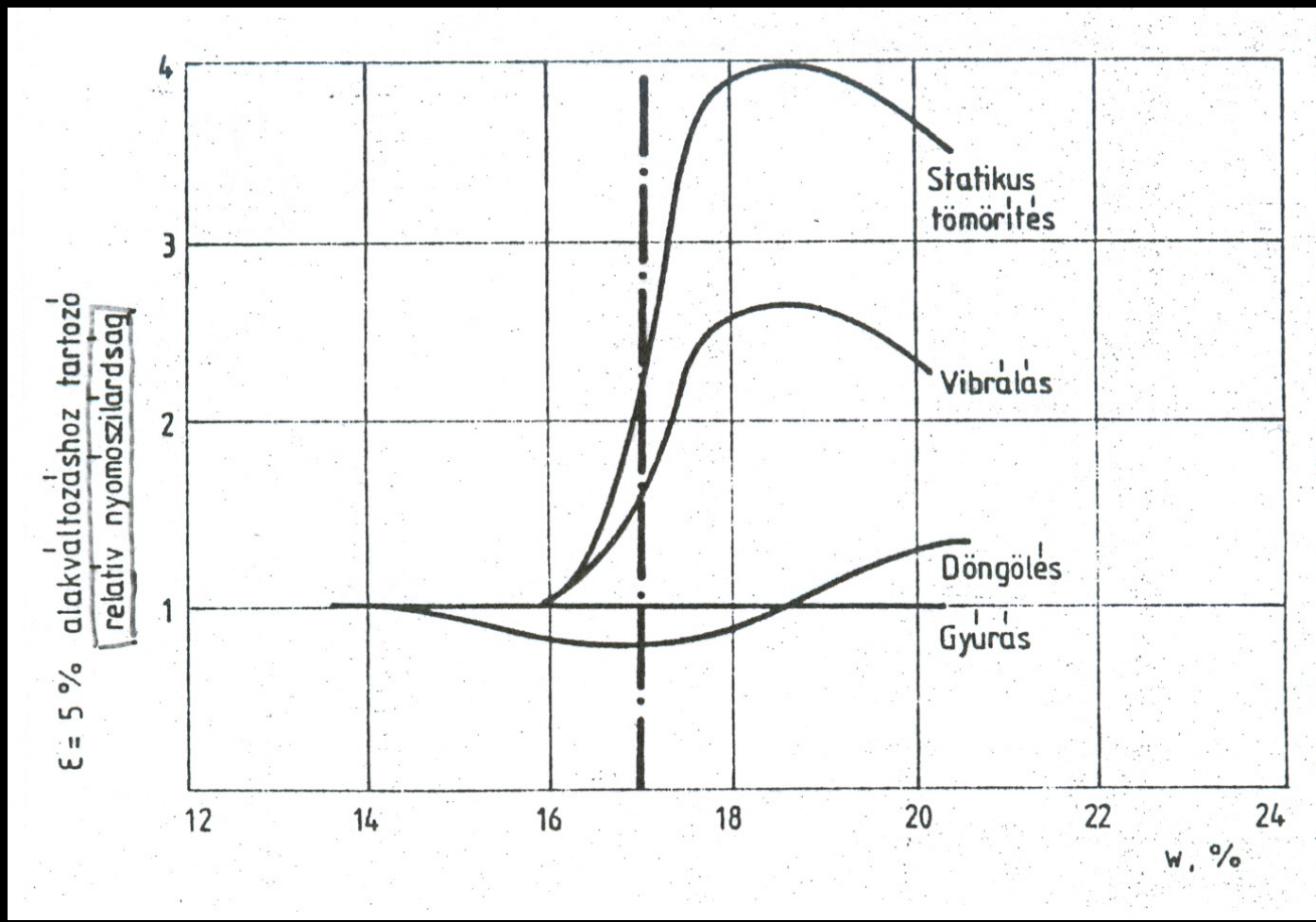
Statikus: összenyomás (kompresszió)
hosszabb tartó erőhatással

Gyúrás: talajszerkezet átdolgozásával, új,
talajszerkezet létrehozásával

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Tömörség – nyírószilárdság kapcsolata

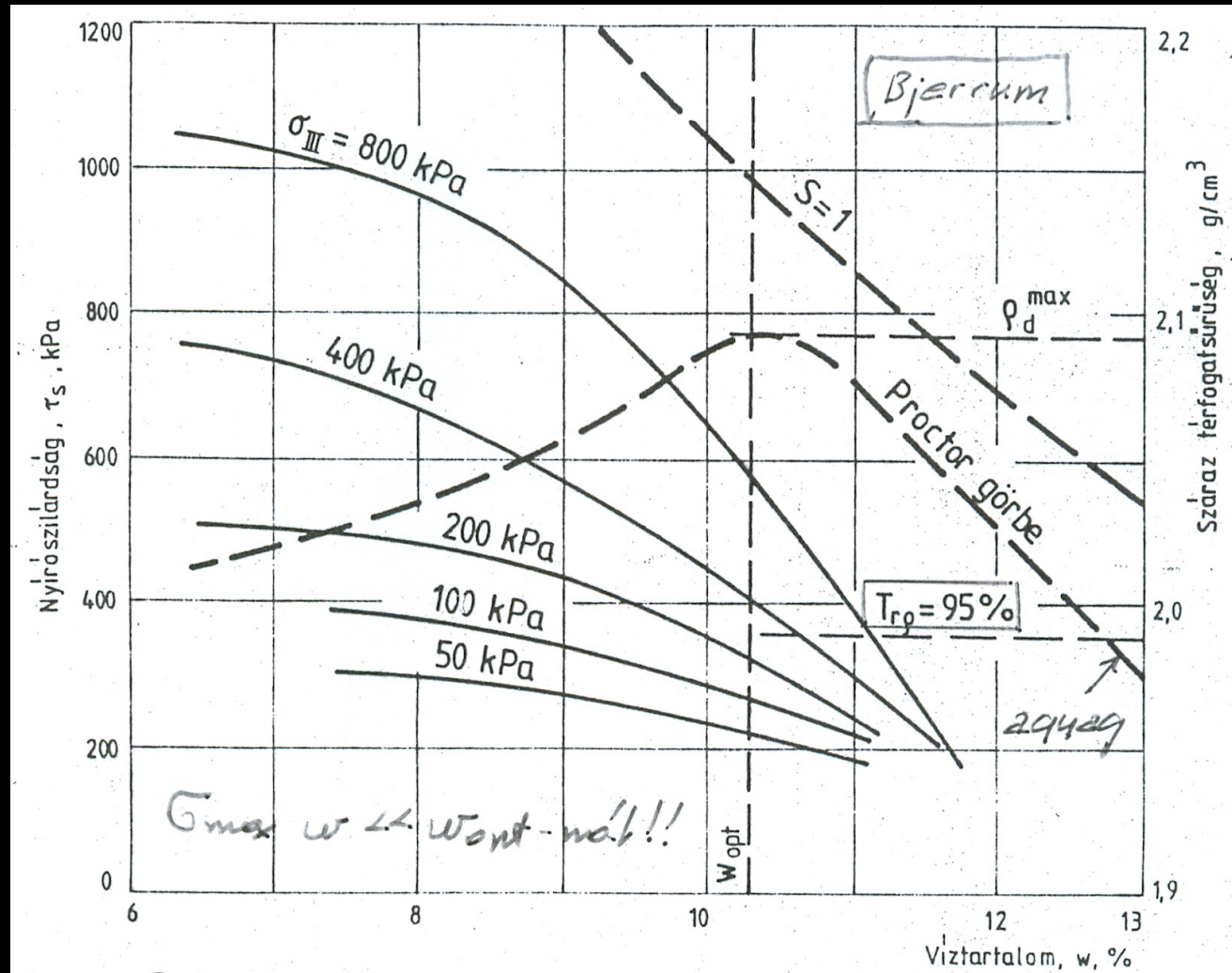
Szemcsés talajokban a tömörség (ρ_d , e) és a nyíró-szilárdság közötti összefüggés csaknem egyértelmű

$$\tau = (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi$$

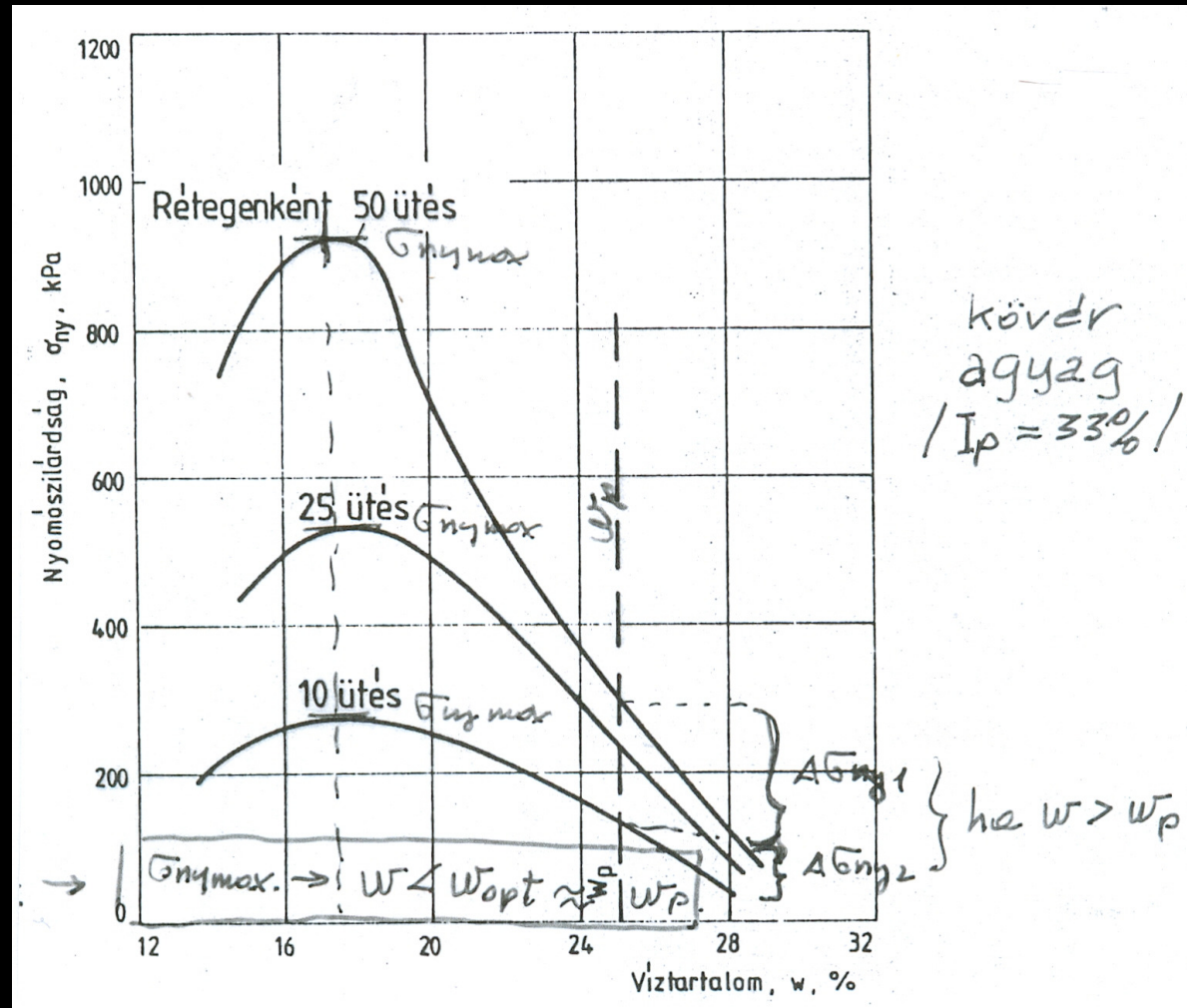
(számos tapasztalati összefüggés ρ_d és φ között)

Kötött talajokban a **nyírószilárdság érzékenyen reagál a talajállapot változásaira, a beépítés és a tömörítés módjára**

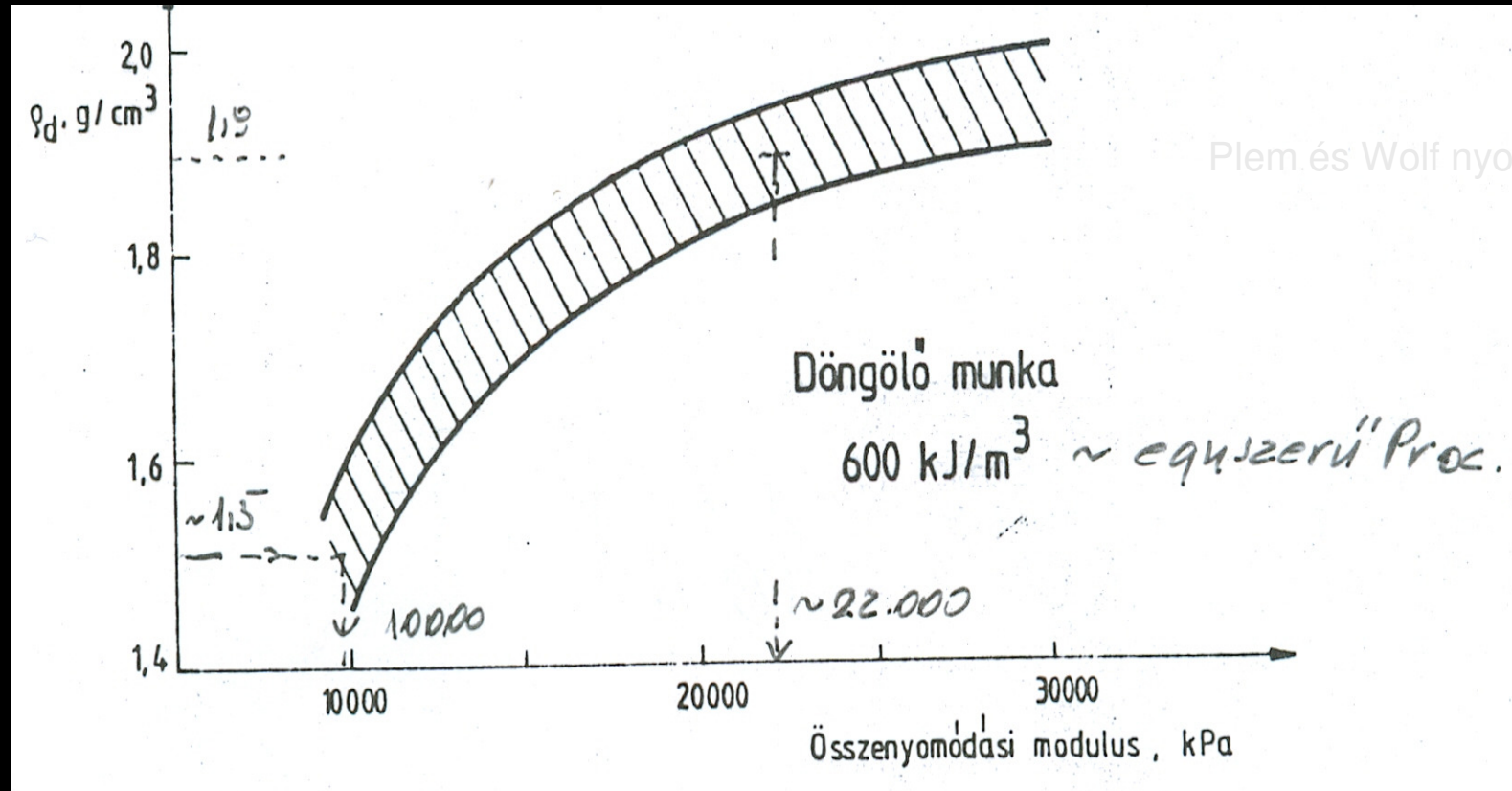
KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



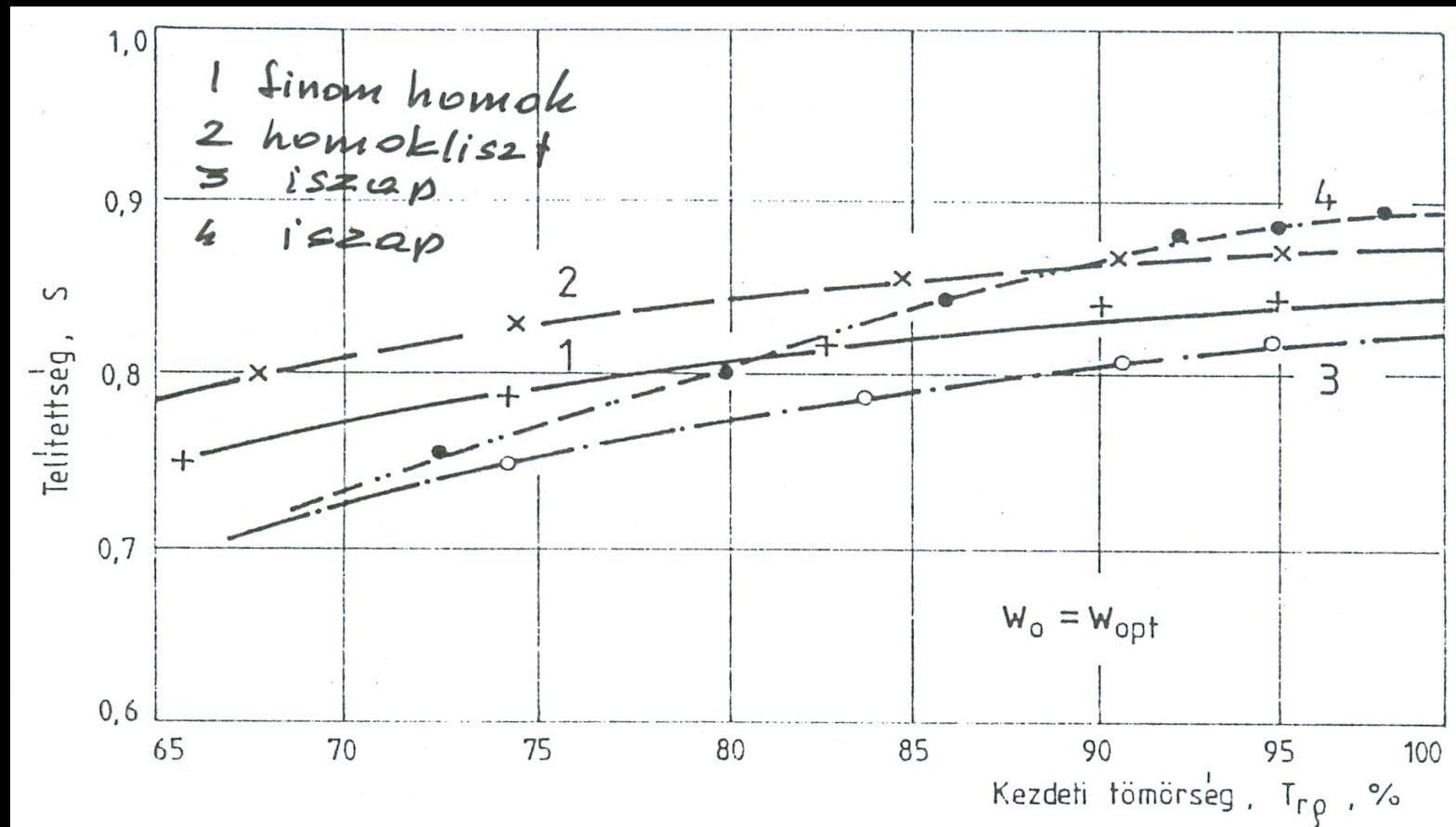
KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

A víztartalom utólagos megváltozásával kapcsolatos tapasztalatok

Telítési és beszivárgási kísérletek 4 talajféleséggel

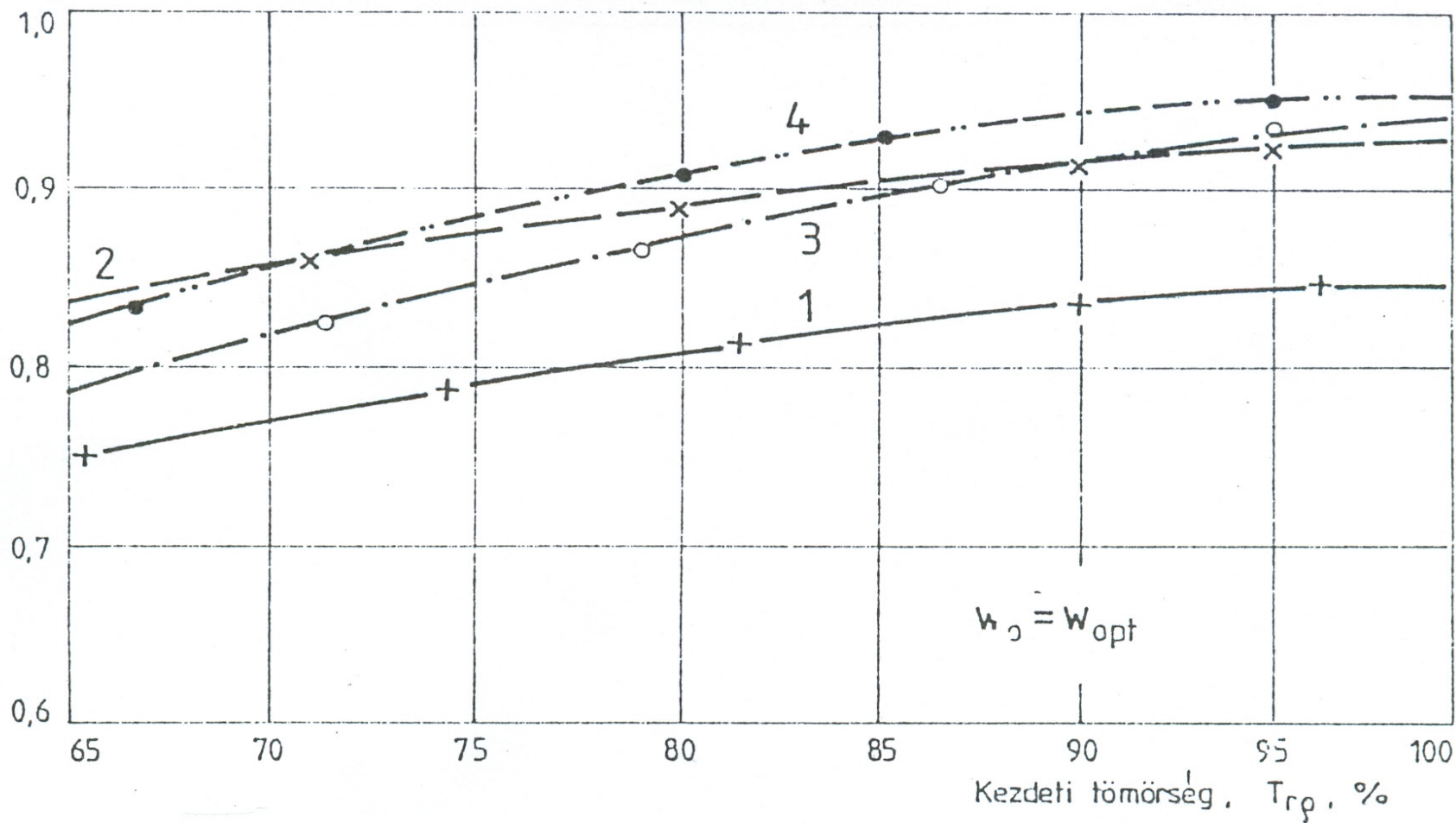
- 1 finom homok
- 2 iszapos finom homok (lössz)
- 3 iszap
- 4 iszap

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



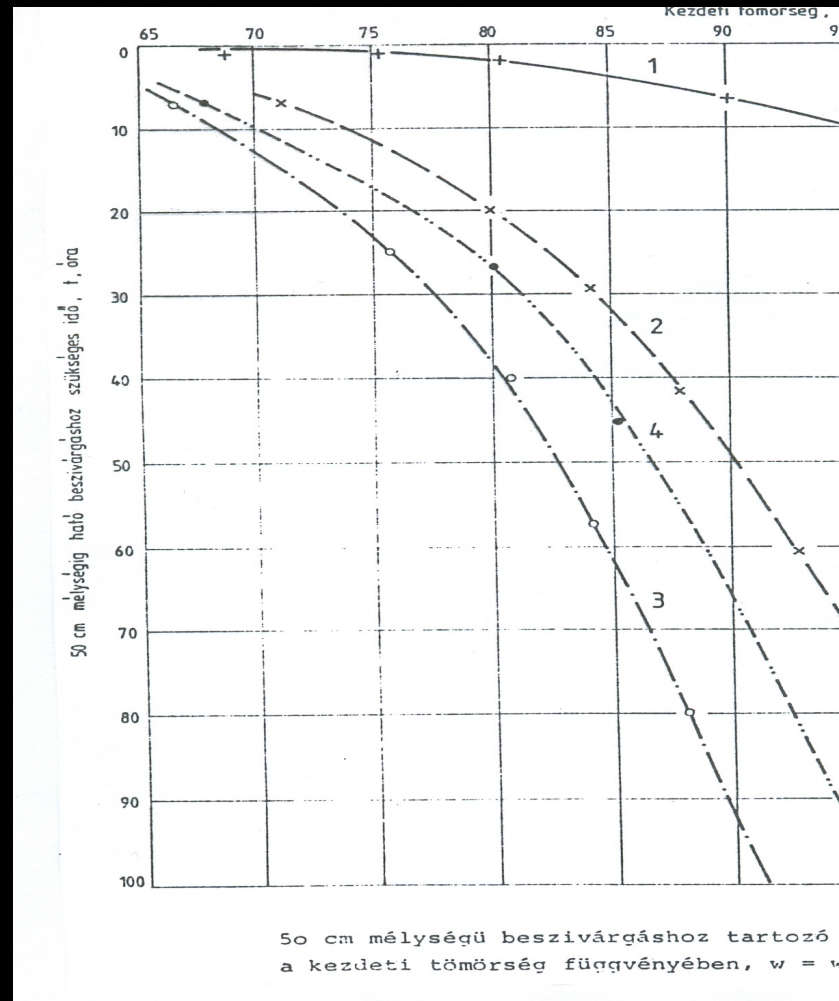
Kapilláris emelkedés hatására kialakult telítettség a kezdeti tömörség függvényében

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

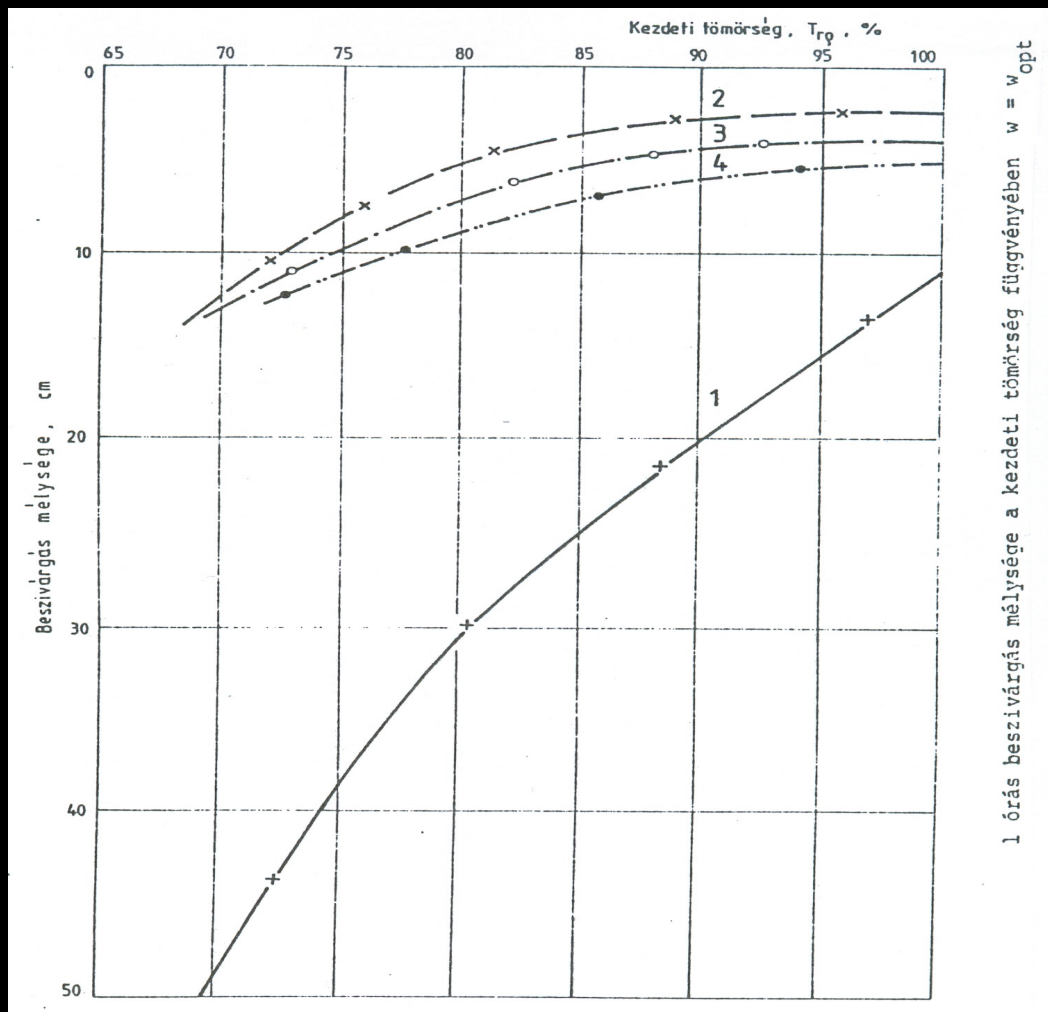


Beszivárgás hatására kialakult telítettség a kezdeti tömörség függvényében.

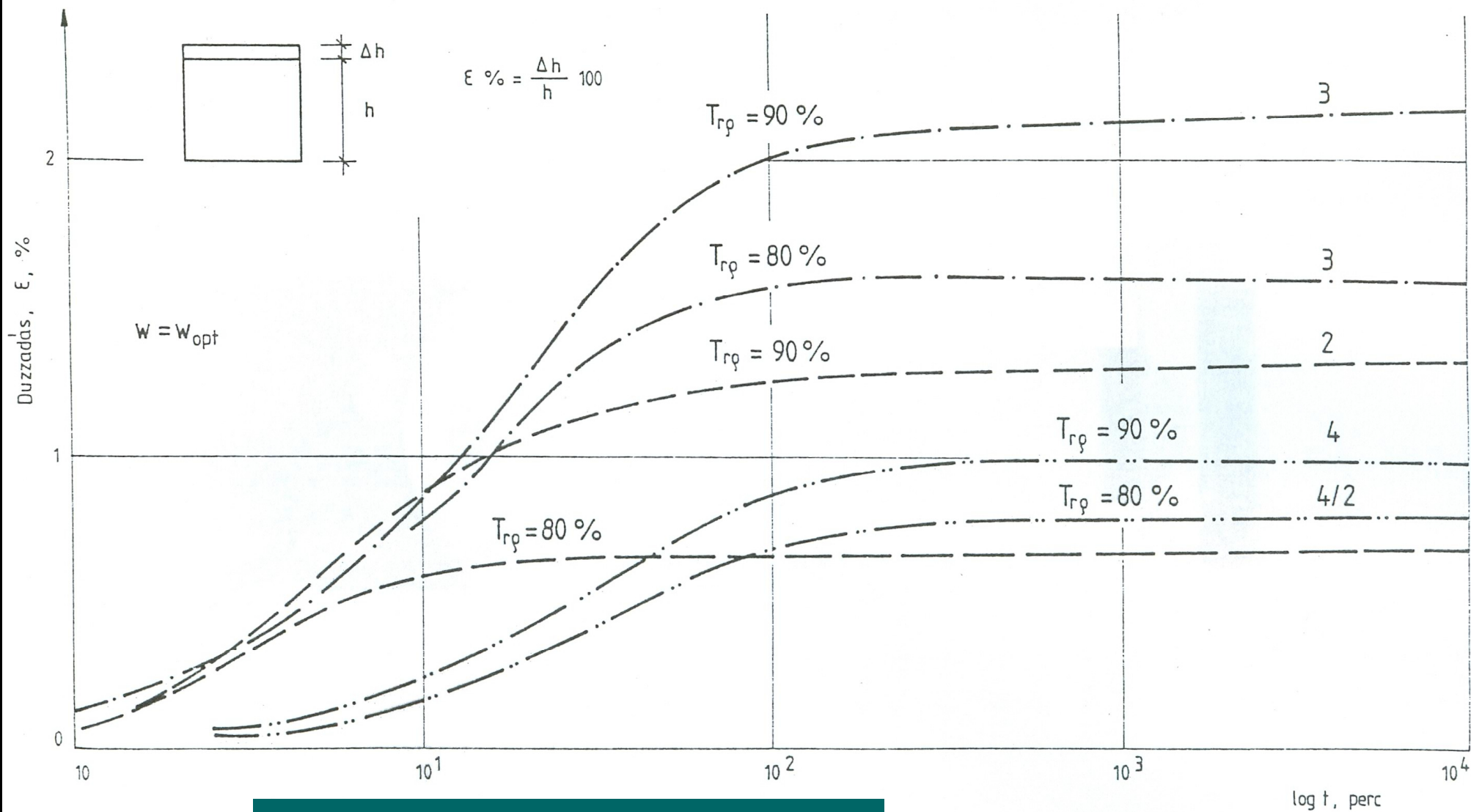
KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

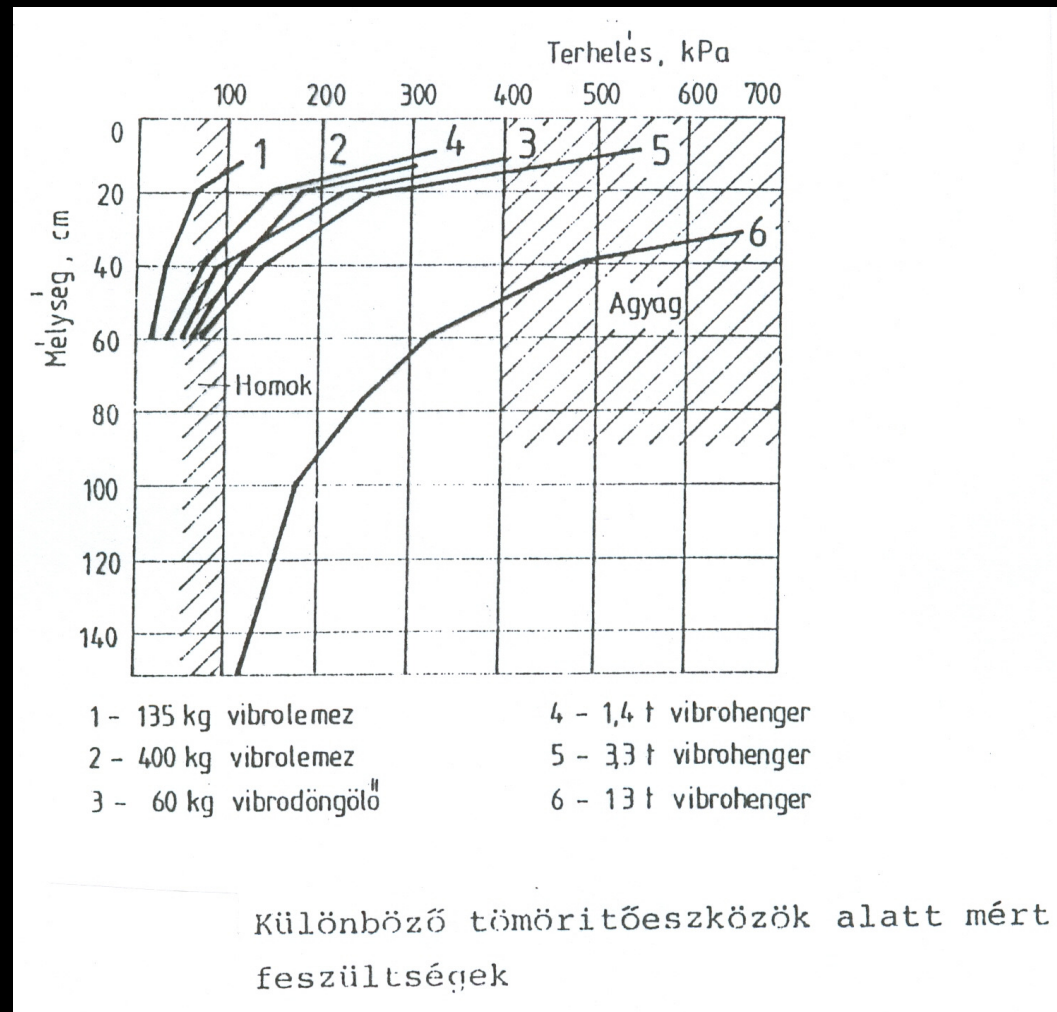


KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

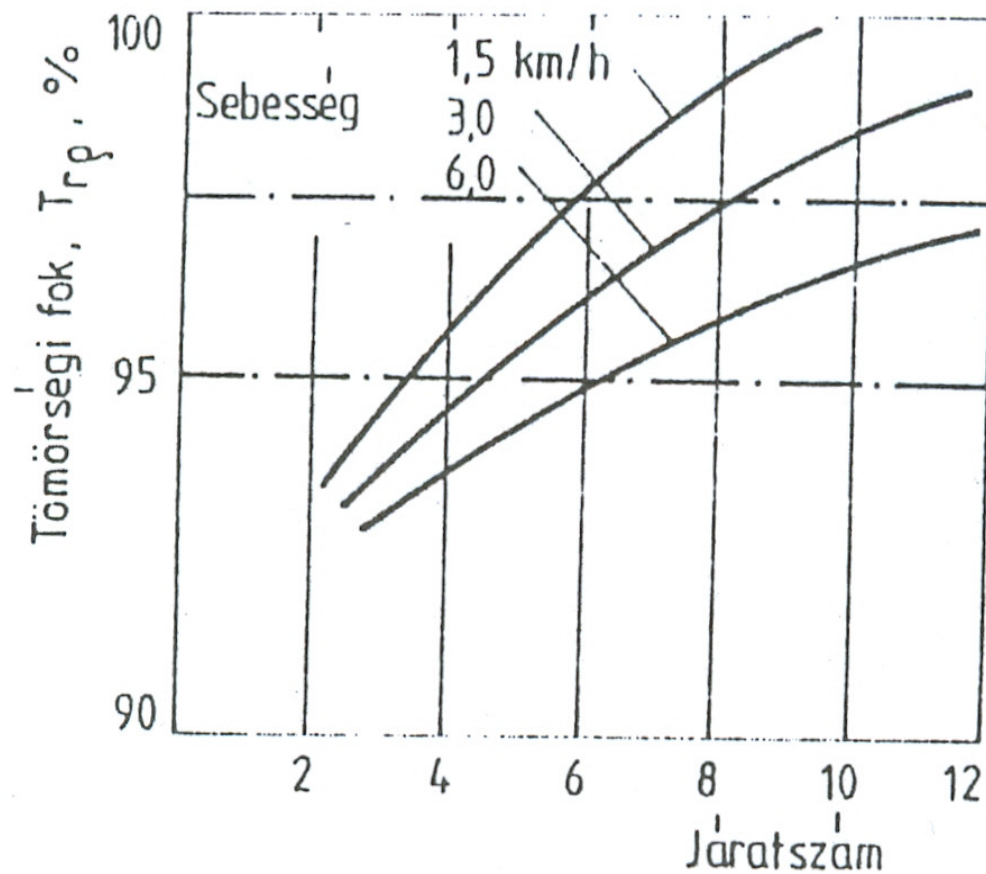
A tömörítőeszközök alatt keletkező feszültségek

- A tömeg és az élnyomás hatása
- A járatszám és a sebesség hatása

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

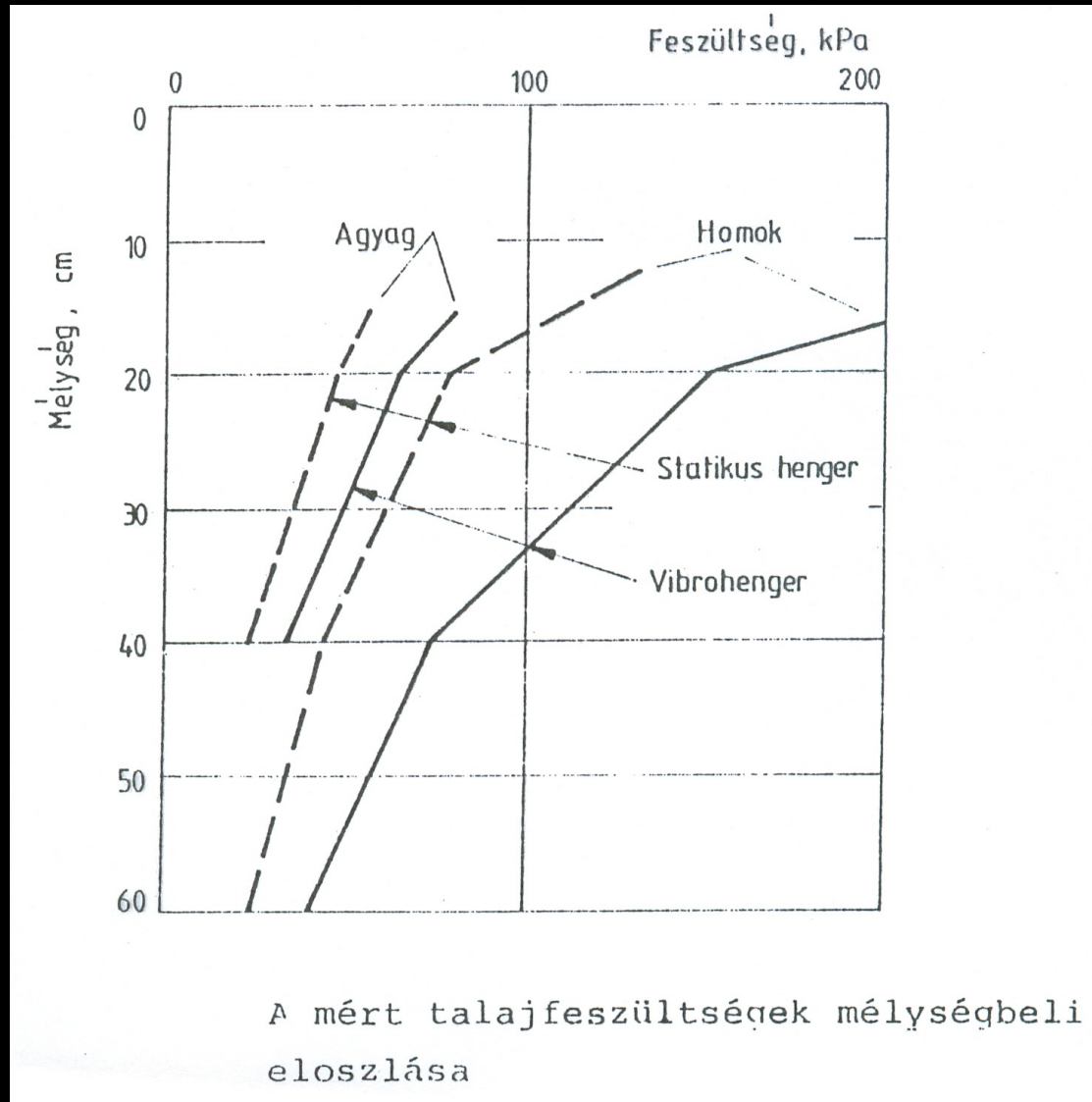


KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



A sebesség és járatszám hatása az elért tömörsegi fokra

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Földanyagok tömöríthetőségének minősítése

Jól tömöríthető talajok T-1

durva szemcséjű, folyamatos szemeloszlású talajok, $C_u > 15$, ill. $6 \leq C_u < 15$

vegyes szemcséjű talajok, $S_{0,063} \leq 40 \%$, és jó w

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Földanyagok tömöríthetőségének minősítése

Közepesen tömöríthető talajok T-2

durva szemcséjű talajok, ha $6 \leq C_u < 15$

**vegyes szemcséjű talajok, ha $S_{0,063} \leq 40 \%$,
és elfogadható w**

finom szemcséjű talajok, ha $I_p \leq 25\%$ és w jó

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Földanyagok tömöríthetőségének minősítése

Nehezen tömöríthető talajok T-3

Durva szemcséjű talajok, ha $3 < C_u < 6$

Finom szemcséjű talajok, ha $I_p \leq 25 \%$ és w még elfogadható

Finom szemcséjű talajok, ha $25 < I_p \leq 40 \%$ és w jó

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Földanyagok tömöríthetőségének minősítése

Nem tömöríthető talajok T-4

Durva szemcséjű talajok, ha $C_u < 3$,

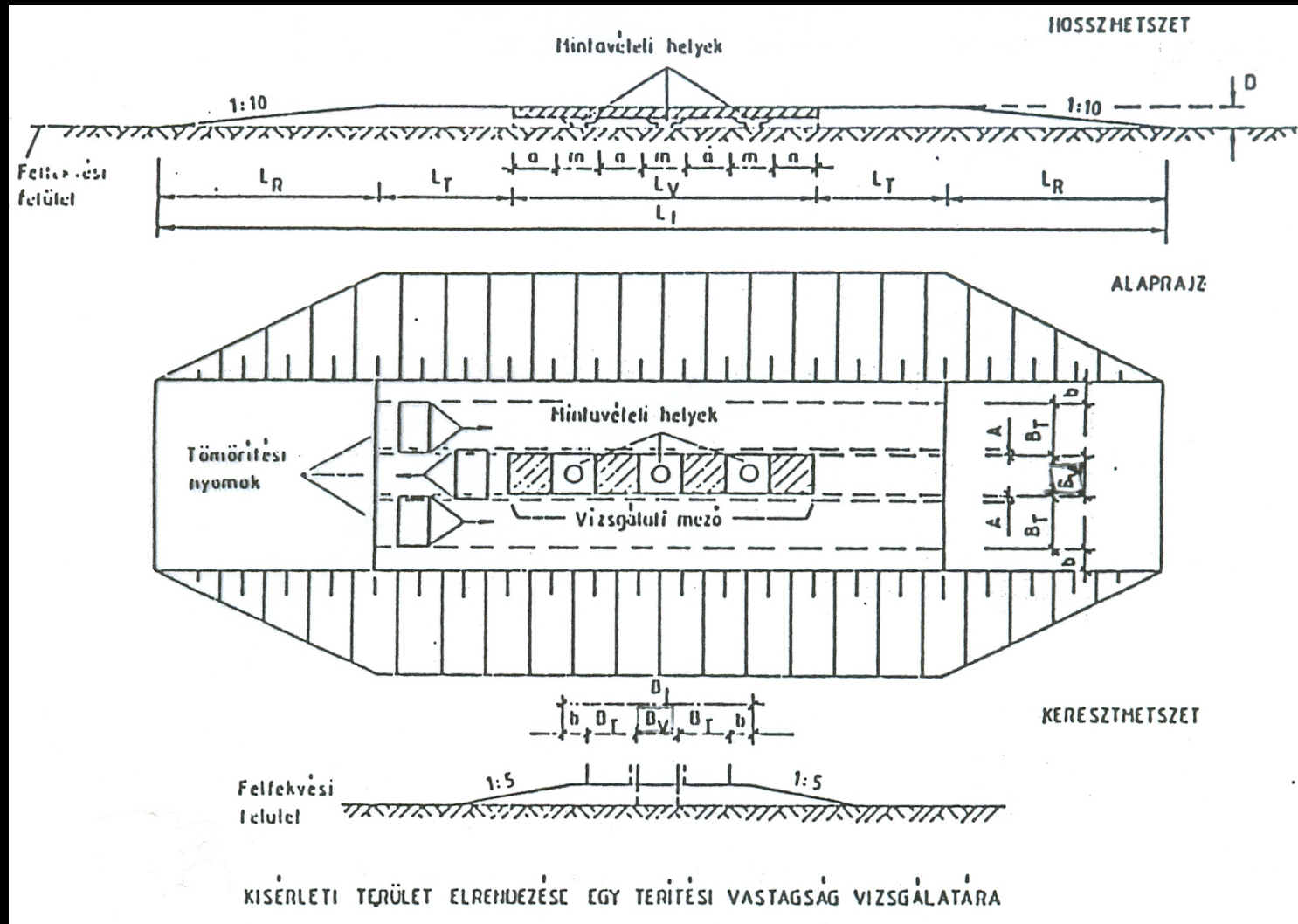
Finom szemcséjű talajok, ha w kedvezőtlen

A rétegvastagsághoz nagy szemcseméretű talajok

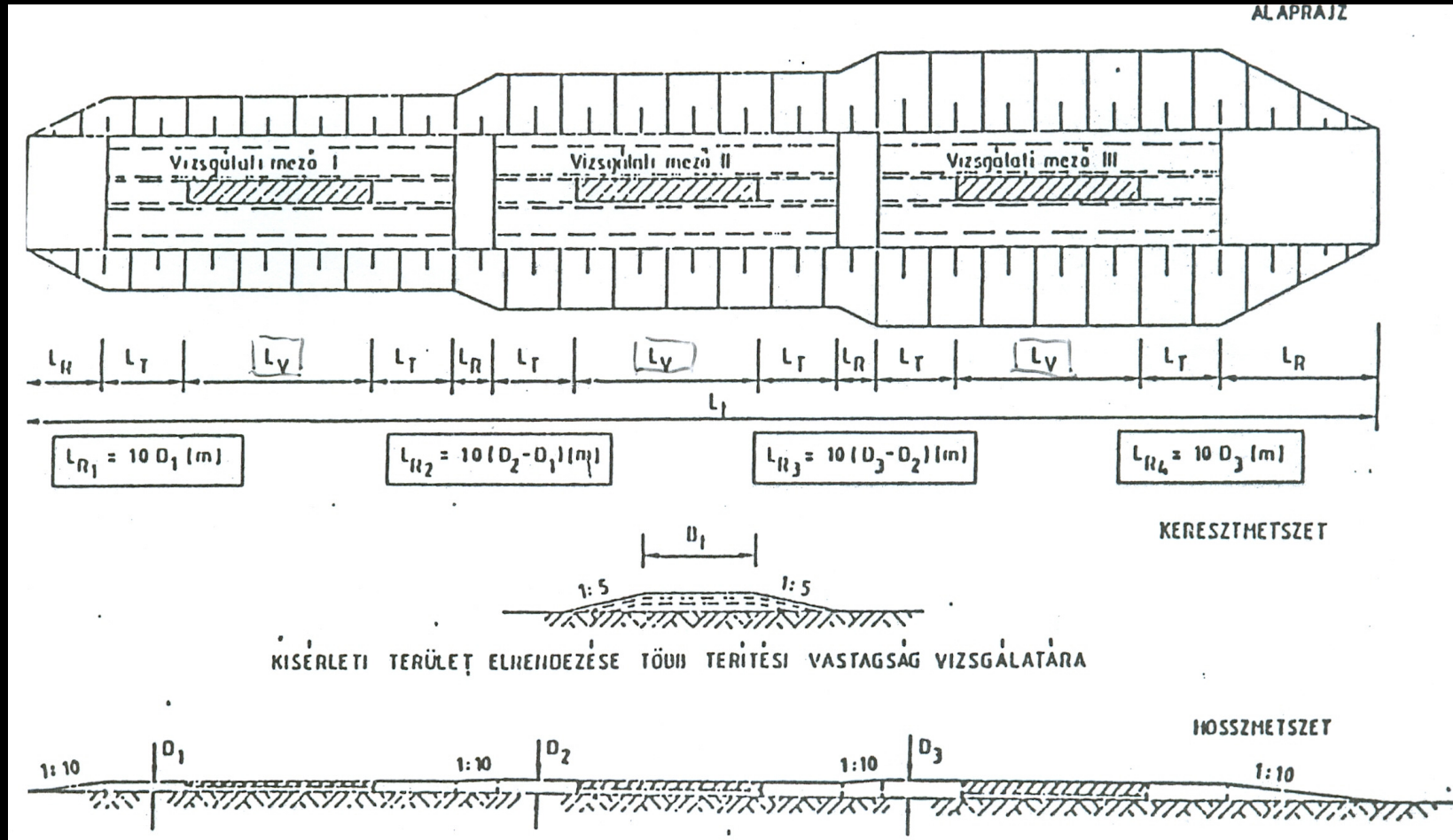
KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Tömörítőeszköz típusa és tömege		Alkalmasság (A) – Rétegvastagság (H, cm) ¹⁾ – Járatszám (J) ²⁾ talajfajta szerint											Földműtípus								
		Szemcsés talajok ³⁾			Vegyes talajok ⁴⁾			Kötött talajok ⁴⁾			Közzetörmelékek ^{4,5)}			Hát-töltés	Vissza-töltés	Vonalas					
		A	H	J	A	H	J	A	H	J	A	H	J	A	A	A					
Statikus	Simahenger < 12 t	x	10-20	4-8	x	10-20	4-8	x	10-20	4-8											
	Gumihenger 20 t – 30 t			6-10			+			6-10	+	6-10									+
Dinamikus	Ejtősúly ⁶⁾ 2,0 m – 2,5 t										+	50-80	3-5								
	Döngölő 50-80 kg	x	20-30	3-7	x	20-30	3-7		10-20	2-4				+	+						
	Vibrohenger ^{7,8)}	- 7 t	+	30-50	4-8	+	30-40	4-8	x	20-30	4-8	+	20-50	4-6	9)		+				
		7 t – 12 t																30-60	40-50	20-40	40-80
		12 t – 20 t																			
		20 t –	x	40-80					40-80	x		30-60	40-80					6-8			
	Tandem-henger	< 12 t	+	20-30	4-6	x	20-40	5-8							+	+					
		> 12 t		30-40					10-20												
Vibrolap	< 400 kg	+	20-30	4-6	x	20-40	4-6							+	+						
	> 400 kg		30-40					20-30	x	20-30	6-8										

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Tömörítési előírások

Töltéstalp $T_{rp} \geq 85 \%$,

Töltéstest

Autópályák, autóutak, főutak esetén $T_{rp} \geq 90 \%$

Egyéb utak esetén $T_{rp} \geq 88 \%$

Alárendelt utak esetén $T_{rp} \geq 86 \%$,

Felső földműrés

Töltés tetején, bevágás termett talaján $T_{rp} \geq 93 \%$

A tükörszinten (többfunkciós réteg tetején) $T_{rp} \geq 96 \%$

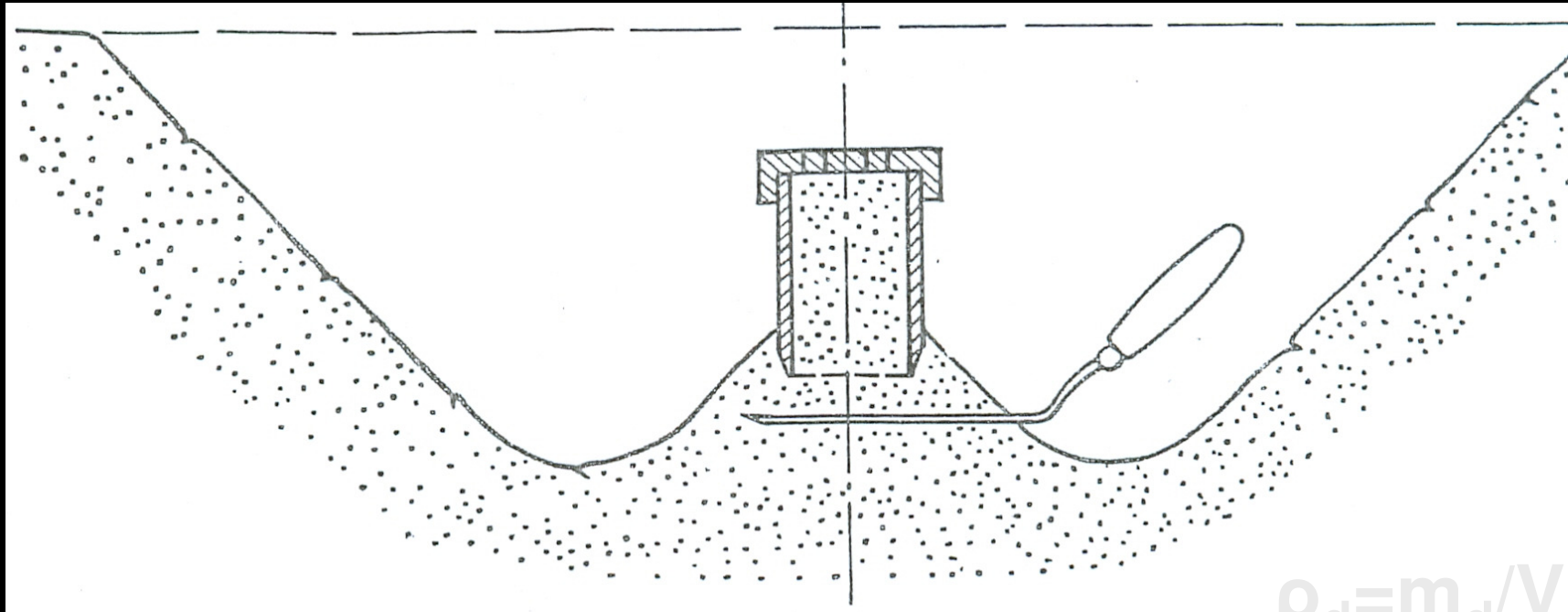
KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Tömörség ellenőrzése

A tömörített anyagból vett minta tömeg- és térfogatméréseivel (ρ_d meghatározása)

- Izotópos tömörségméréssel
- Könnyű ejtősúlyos berendezéssel
- Penetrométeres vizsgálattal (statikus, v. din szonda, kalibrálás után)
- Statikus tárcsás terheléssel (E_2/E_1)
- Teljes felületű tömörségellenőrzés módszerével

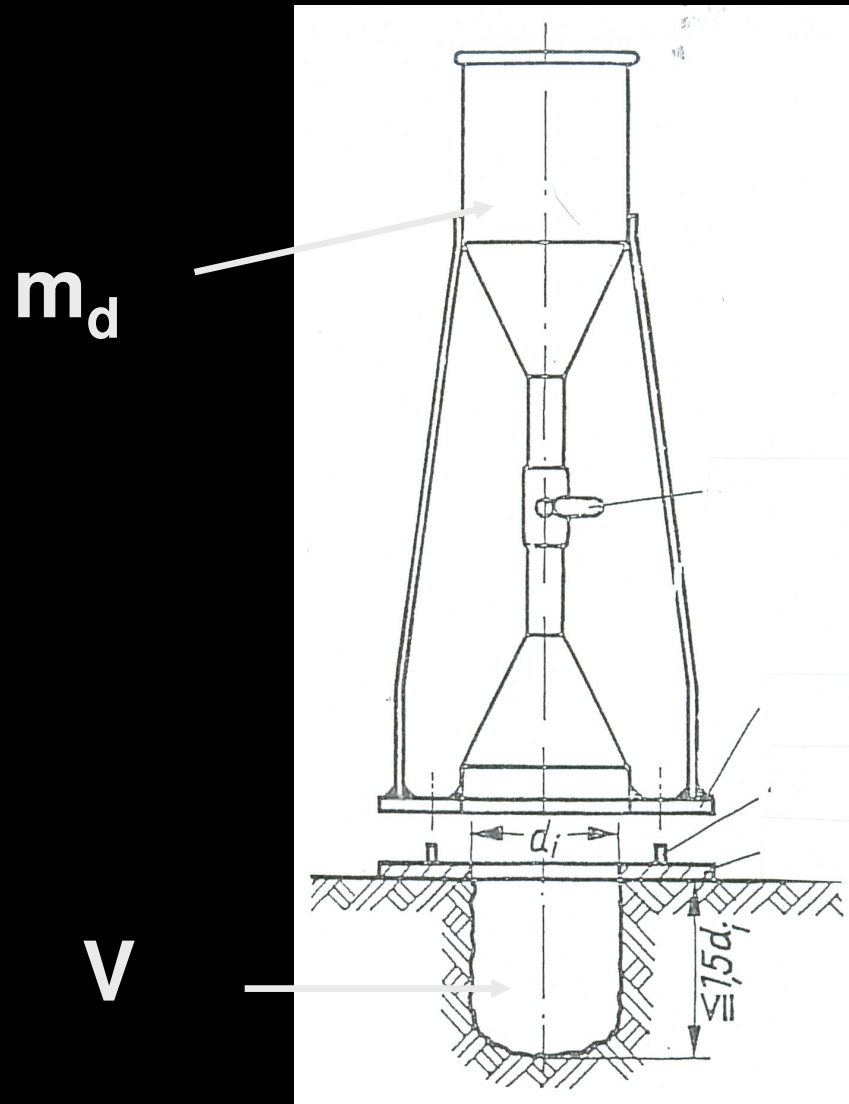
KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



$$\rho_d = m_d / V$$

Zavartalan mintavétel kiszűrő hengerrel
TÖMEG ÉS TÉRFOGATMÉRÉS

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

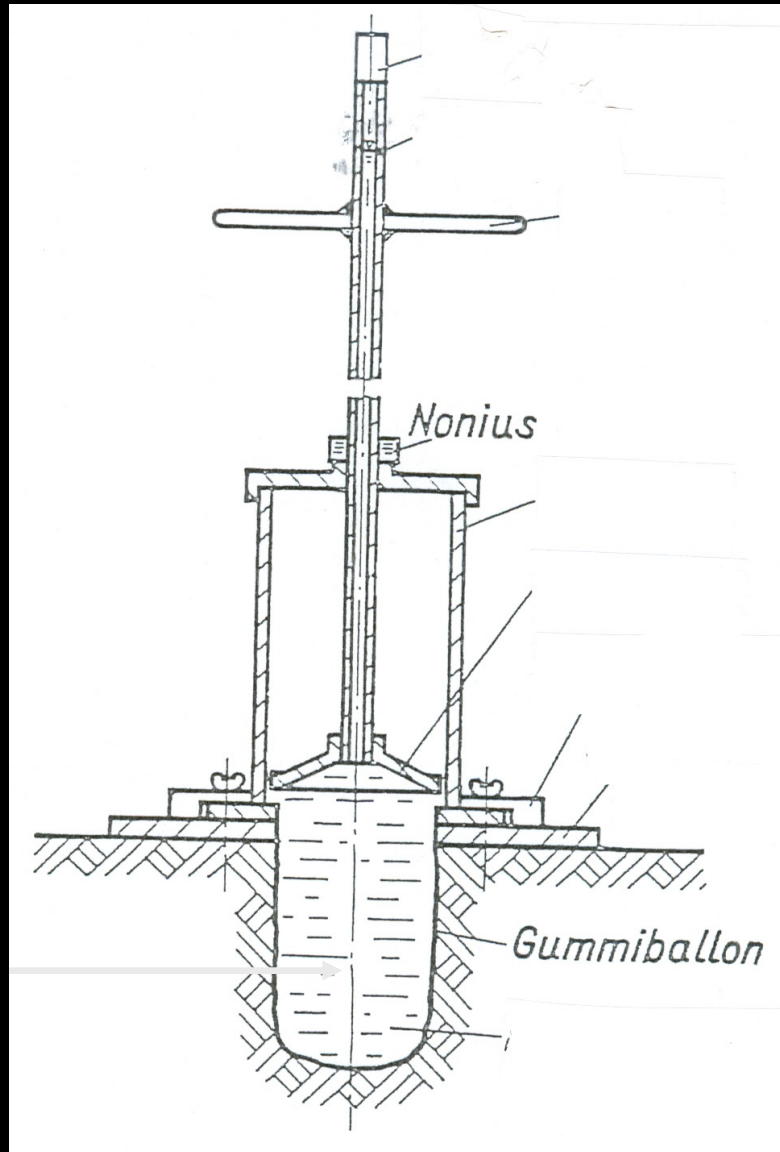


„Homokszóró berendezés”

$$\rho_d = m_d / V$$

TÖMEG ÉS TÉRFOGATMÉRÉS

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



Gumiballonos
térfogatmérő

$$\rho_d = m_d / V$$

V

TÖMEG ÉS TÉRFOGATMÉRÉS

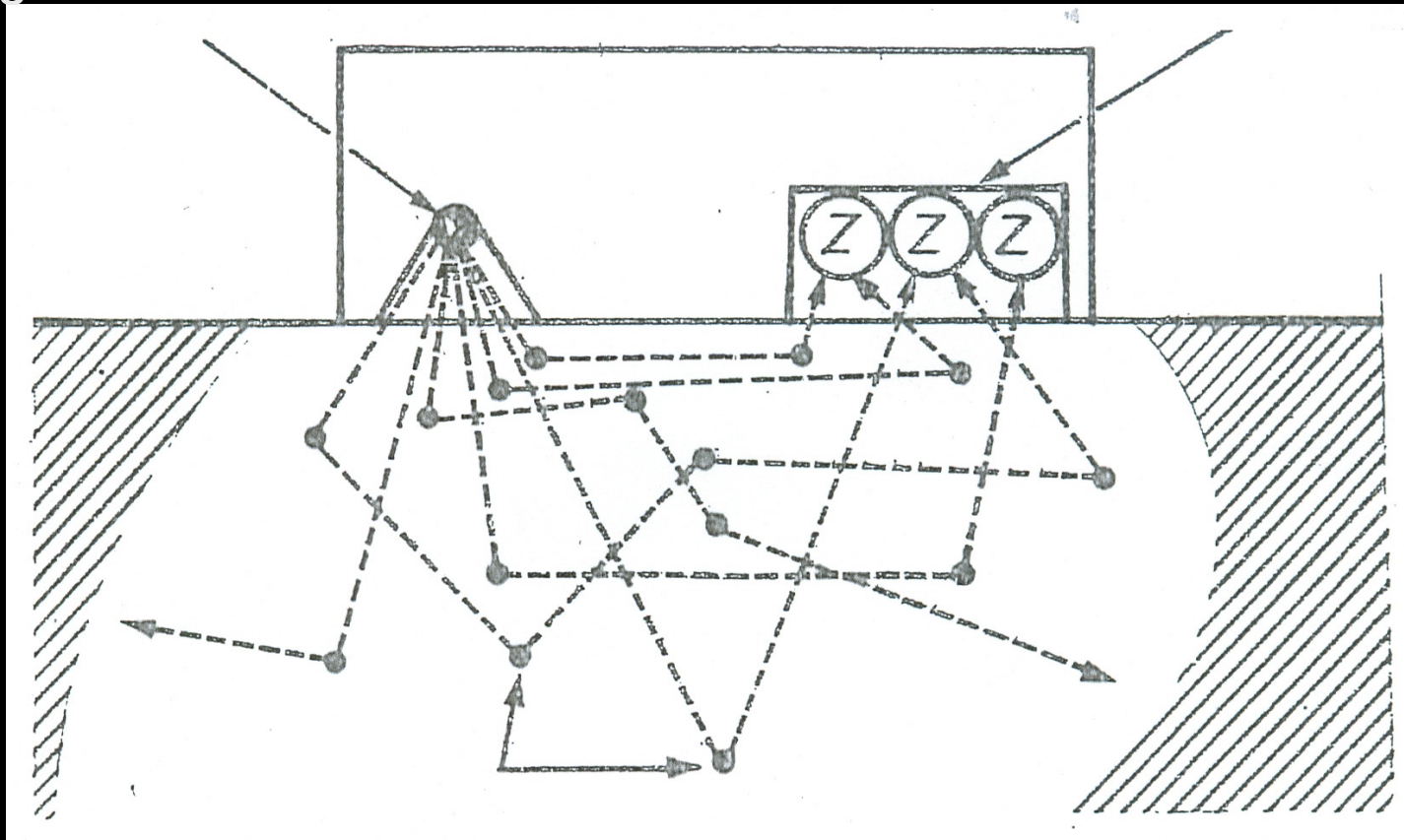
KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



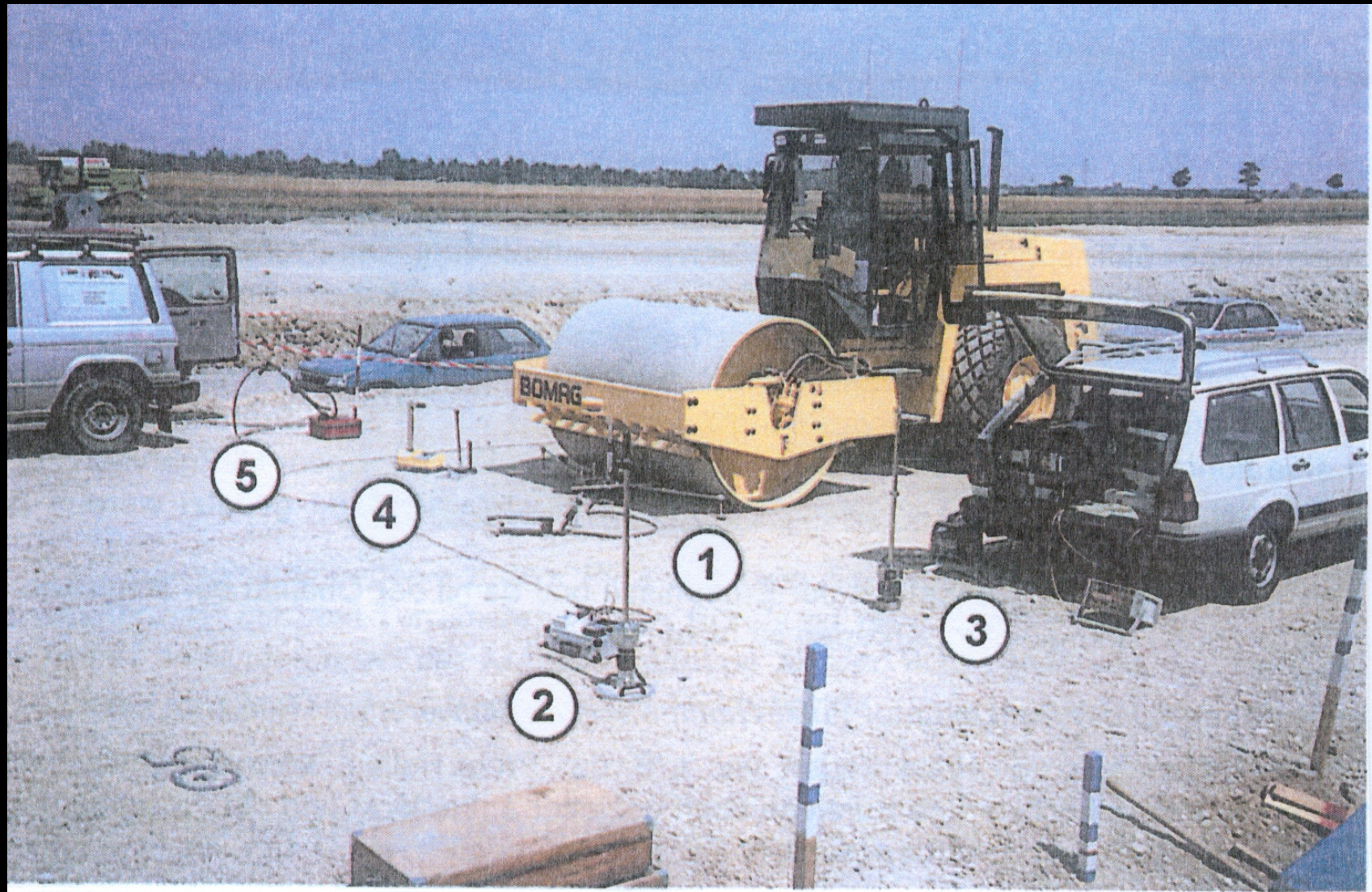
KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

sugárforrás

Geiger-Müller száml.



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

A tömörség ellenőrzésének gyakorisága

Autópályák, autóutak, főutak esetén egy mérés

Töltéstestnél

- 100 fm hossz, 0,5 m rtg. vast., de max. 1000 m³

Felső 1 m-es zóna esetén

- 50 fm hossz, 0,5 m rtg. vast., de max. 1000 m²

Háttöltések esetén

- max. 250 m³

Padkák, elválasztósávok esetén

- oldalanként 500 fm, ill. max. 1000 m²

Visszatöltések esetén

- 100 fm hossz és 1 m vtg.

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

A tömörség értékelése

$$T - \Delta \leq \bar{T} - 1,28 \cdot s_T$$

ahol: T tömörségi fok

Δ tűrés

\bar{T} átlagos tömörségi fok

n mintaszám

s_T szórás

A Δ negatív tűrés 3 % lehet (v. tervezői előírás)

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Földművek teherbírása

A földműre épített (pálya)szerkezet tartós teherbírását biztosítani kell.

A teherbírást az E_2 teherbírési modulussal kell értelmezni (ami lényegében a földmű anyagának a merevségét jelenti)

Jelentősége főként a pályaszerkezet alatti (~ 1 m vtg.) földmű zónában fontos.

E_{2m} méretezési teherbírési modulus a tükörszinten a talaj tartósan várható állapotának jellemzője

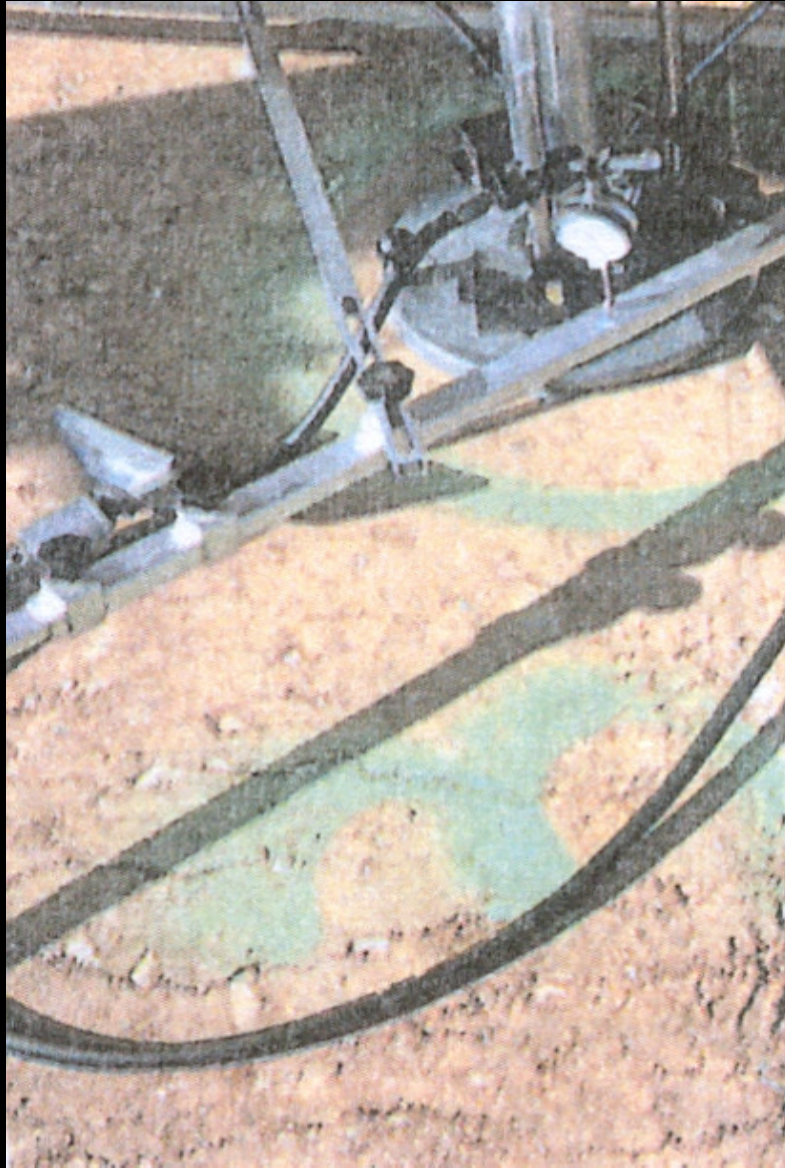
E_{2d} tervezési teherbírési modulus a talaj várható kritikus állapotának jellemzője a várható állapotváltozások terepi méréseiből, esetleg tapasztalati adatokból

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

A teherbírás (E_2) meghatározása

- helyszíni és laboratóriumi mérésekkel
 - helyszíni: tárcsás teherbírás mérés (E_2)
statikus, dinamikus
 - laboratóriumi: $E_{2,}$ (*statikus*)
vagy CBR vizsgálat
(átszámítással: $E_2 = 10 \cdot \text{CBR}^{2/3}$)
- összehasonlító tapasztalatok alapján
- ÚT 2-1.222 szabvány ajánlása (táblázat) alapján

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

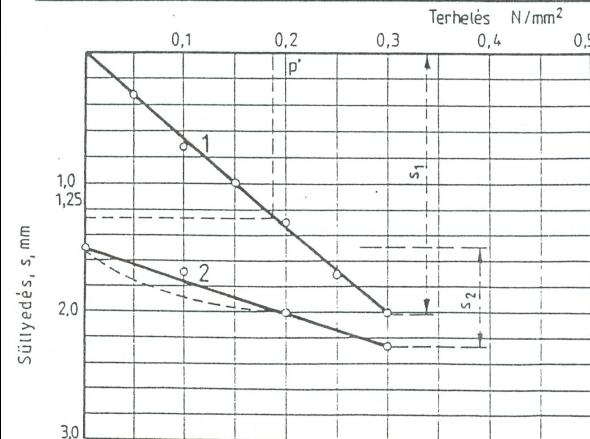


KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

		TÁRCSÁS VIZSGÁLAT	Az út neve:
MSZ.:		MSZ 2509/3 szerint	A mérés kelte:

A mérés-helye:	5 + 290 km az. tengelyről jobbra 3,0 m		
A mért réteg (ek):	kőzet		
Talajfajta:	homokos kőzet	A mérést megelőző időjárás:	sáros
Megjegyzés:	nyílttéri mérés beépítés előtt	A mérést végezte:	

Terhelés p N/mm ²	Dinam. leolv.	Mérőóra-leolvasások mm													
		első terhelés (s ₁)					második terhelés (s ₂)								
		1	2	3	össz.	átlag	1	2	3	össz.	átlag				
0,00	0														1,50
0,05	12					0,35									
0,10	26					0,20									1,70
0,15	38					1,00									
0,20	51					1,31									2,00
0,25	64					1,70									
0,30	77					2,01									2,25
0,35	89														
0,40	102														
0,45	115														
0,50	128														
0,20	51					2,00									



Számítás

$$s_1 = 2,01 \text{ mm}$$

$$s_2 = 0,75 \text{ mm}$$

$$p = 0,30 \text{ N/mm}^2$$

$$r = 1,50 \text{ mm}$$

$$p' = 0,18 \text{ N/mm}^2$$

$$E = \frac{1,5 p \cdot r}{s}$$

$$E_1 = 34 \text{ N/mm}^2$$

$$E_2 = 90 \text{ N/mm}^2$$

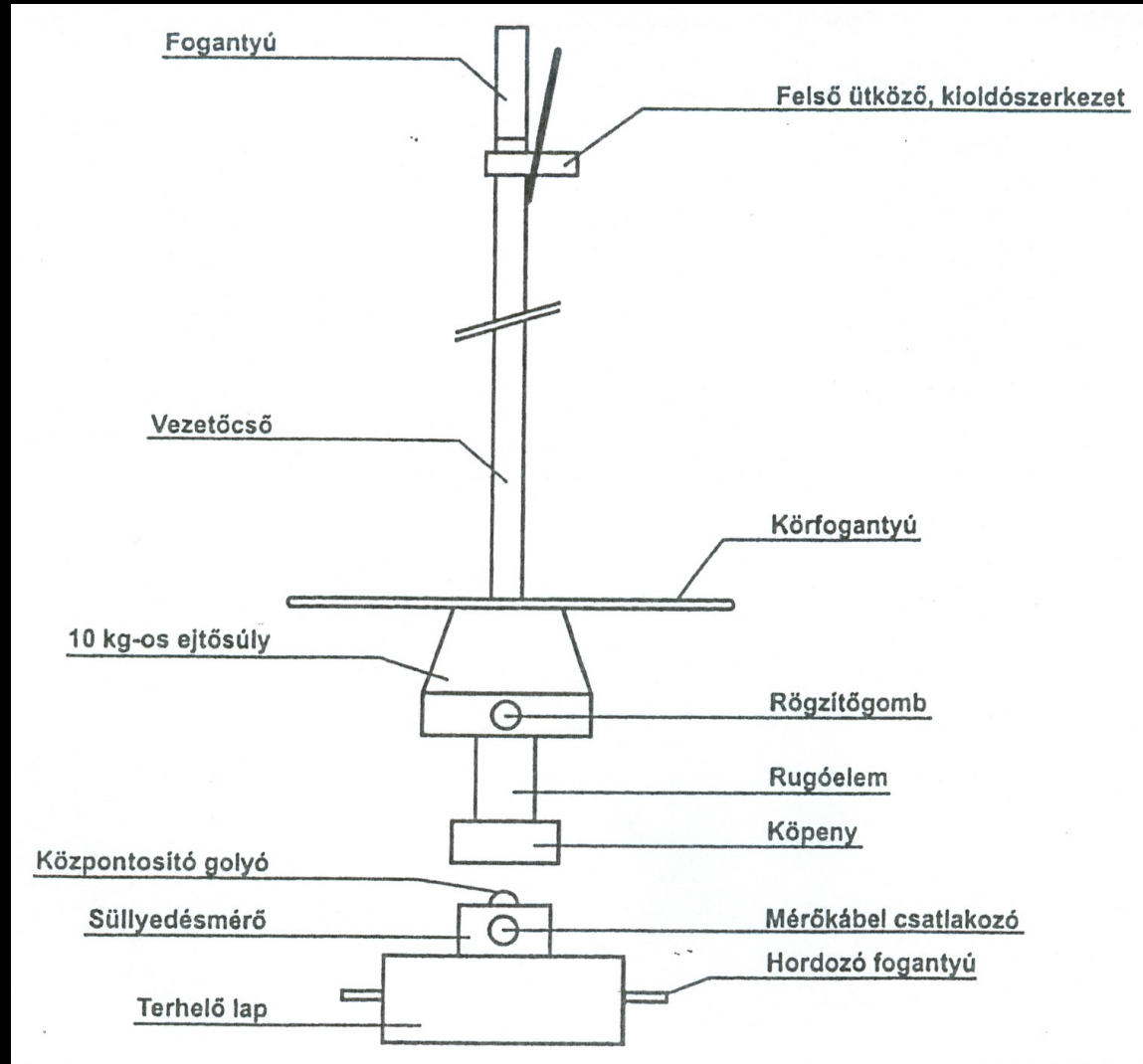
$$T_1 = \frac{E_2}{E_1} = 2,6$$

$$C = \frac{p'}{1,25} = 0,4 = 0,06 \text{ N/mm}^3$$

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

$$E_d = \frac{c \cdot (1 - \mu^2) \cdot p_{din} \cdot r}{s_{1d}}$$

ahol:

c – Boussinesq-féle tárcsaszorzó ($\pi/2$ merev, $c=2$ hajlékony)

s_{1d} – tárcsa közepének átlagos függőleges elmozdulása, 0,01 mm

μ – Poisson-tényező (MSZ 2509-3 szerinti értelmezésben)

r – terhelőtárcsa sugara, mm

$p_{din} = \frac{F_{din}}{A}$ – tárcsa alatti dinamikus terhelés nagysága, MPa, N/mm² vagy MN/m²

ahol:

A – terhelőtárcsa felülete, mm²

$$F_{din} = \sqrt{2 \cdot m \cdot g \cdot h \cdot K}$$

ahol:

m – az ejtőttest tömege, kg

g – nehézségi gyorsulás, m/s²

h – ejtési magasság, m

K – rugóállandó, N/m.

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Talajcsoport			Tájékoztató tervezési teherbírási modulus $E_{2 \text{ talaj, MPa}}$		Viztartalom-növekmény w_{opt} -hoz képest $\Delta w, \%$		Teherbírási-csökkenés mértéke $\frac{\Delta E_f \Delta w}{MPa\%}$
jele	neve	jellemzése	NK	K	NK	K	
I	Homokos kavics	$40 < S_{2,0} < 70\%$ $20 < d_{\text{max}} < 63 \text{ mm}$ $S_{0,063} < 5\%$ $6 < C_u$	65		2	1	3
II	Homokos kavics, kavicsos homok	$60 < S_{2,0} < 80\%$ $6,3 < d_{\text{max}} < 20 \text{ mm}$ $5 < S_{0,063} < 15\%$ $6 < C_u$	50	55	1	0	2
III	Kavics, homok	az I-II és a IV-VI csoportba nem sorolható szemcsés talajok	40	45	2	1	6
IV	Iszapos homok	$80\% < S_{2,0}$ $0,63 < d_{\text{max}} < 6,3 \text{ mm}$ $15 < S_{0,063} < 40\%$ $3 < C_u$	35	40			9
V	Iszapos finom homok	$80\% < S_{0,2}$ $0,20 < d_{\text{max}} < 0,63 \text{ mm}$ $15 < S_{0,063} < 40\%$ $I_p < 5\%$	30	35	3	2	12
VI	Homokos iszap	$80\% < S_{0,2}$ $0,20 < d_{\text{max}} < 0,63 \text{ mm}$ $40 < S_{0,063} < 70\%$ $5 < I_p < 10\%$	25	30			15
VII	Iszap	$10 < I_p < 15\%$	20	25	4	3	18
VIII	Sovány agyag	$15 < I_p < 20\%$	25	30	5	4	15
IX	Közepes agyag	$20 < I_p < 30\%$	20	25	6	5	12
X	Kövérsagyag	$30 < I_p < 40\%$			7	6	9

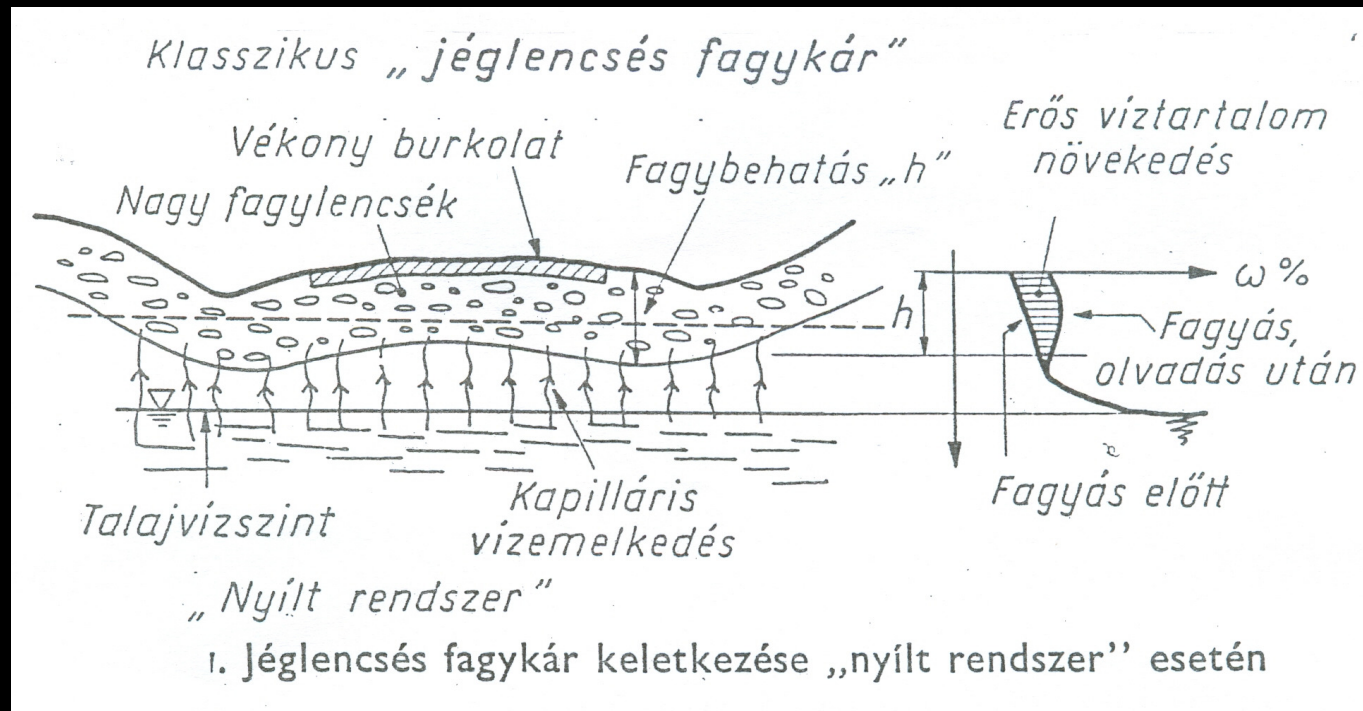
Megjegyzés:

NK – Kedvezőtlen éghajlatú területeken, nedves vidéken, 600 mm feletti átlagos évi csapadékú területeken, kedvezőtlen víztelenítésű útszakaszokon (bevágás, alacsony töltés–sekély bevágás), a III–X. talajok esetében a pályaszint alatti 2,0 méternél magasabb talajvízszint esetén;

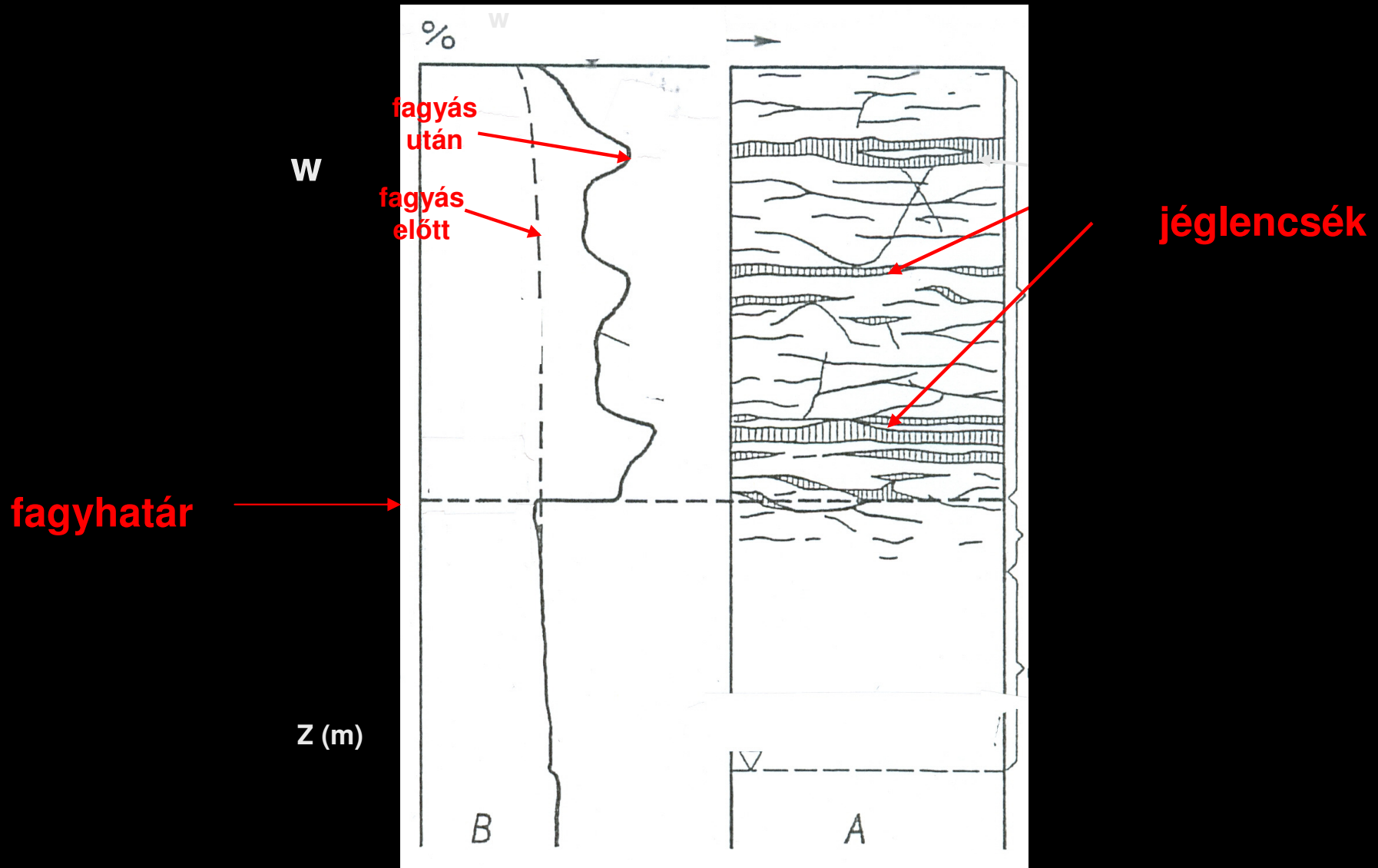
K – Kedvező éghajlatú területeken, száraz vidéken, 600 mm alatti átlagos évi csapadékú területeken, kedvező víztelenítésű útszakaszokon (magas töltés), a III–X. talajok esetében a pályaszint alatti 2,0 méternél mélyebb talajvízszint esetén.

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

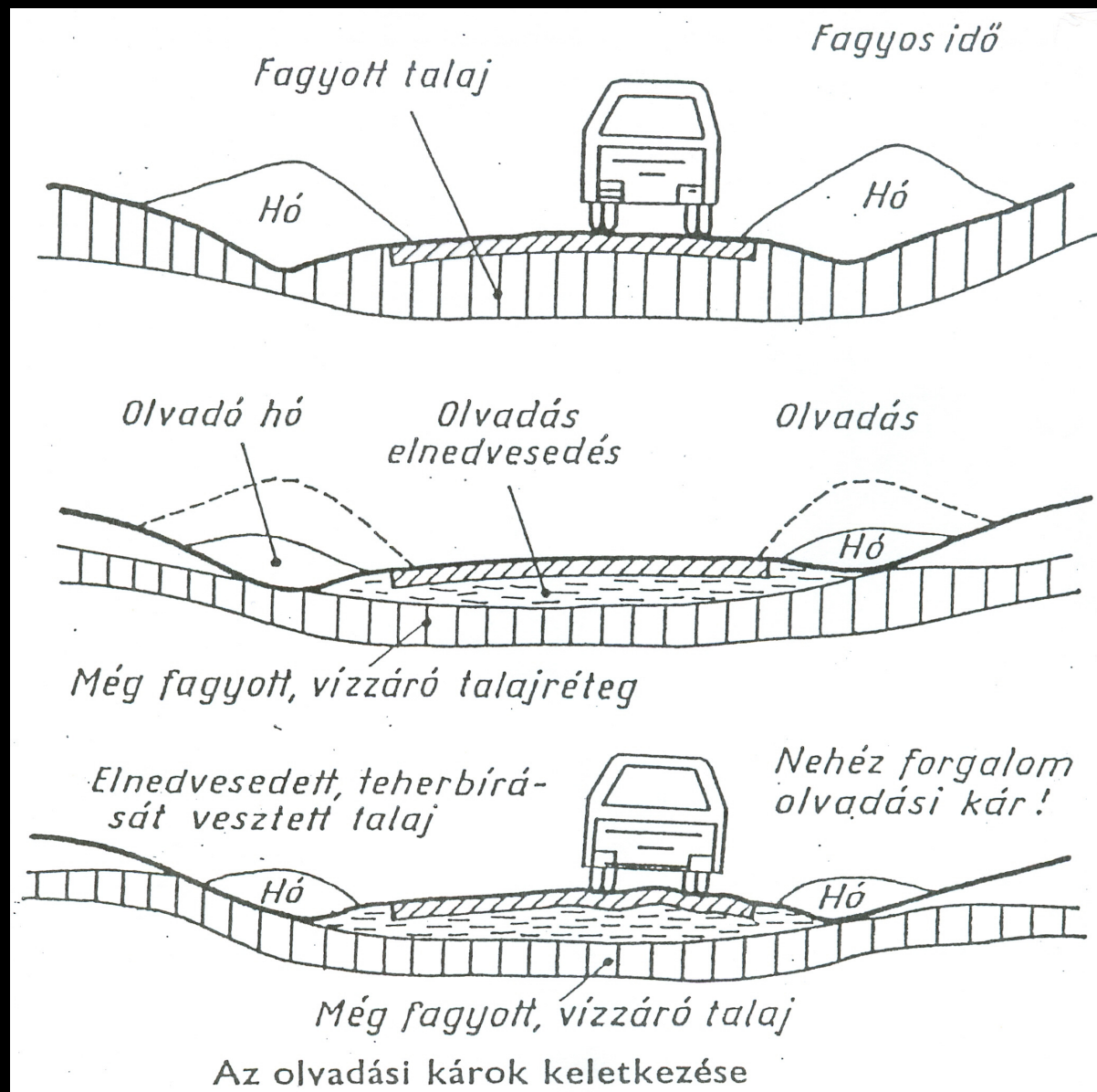
FAGY-ÉS OLVADÁSI KÁROK



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Fagyvédőréteg méretezése

$$h_v = F - \sum (h_i \times f_i)$$

- ahol,
- h_v a védőréteg vastagsága (cm)
 - F az éghajlati körülményekre jellemző a forgalmi terhelési osztálytól, a talaj fagyveszélyességének mértékétől és a fagyhatárövezettől, illetve a tengerszint fölötti magasságtól függ irányérték (cm) a 3. táblázat szerint
 - h_i az egyes pályaszerkezeti rétegek vastagsága (cm)
 - f_i az egyes pályaszerkezeti rétegeknek a 4. táblázat szerinti komplex anyagi jellemzője, amely figyelembe veszi a pályaszerkezeti réteg hőszigetelő képességét, hajlítószilárdsági tulajdonságát és vízzáróságát.

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Fagyveszély

Éghajlati övezet	Forgalmi osztály					
	A, B		C, D		E, K, R	
	Talaj					
	fagyérzékeny	fagyveszélyes	fagyérzékeny	fagyveszélyes	fagyérzékeny	fagyveszélyes
I.	40	50		60	70	
II.	45	55		65	75	
III.	50	60		70	80	

megjegyzés: I. övezet: A Dunántúl 300 m Bf. alatti területei 2, 7.

II. övezet: A Duna–Tisza közének az M3 autópályától délre és a Tiszántúlnak a Sebes-Köröstől délre terjedő területe, valamint a Dunántúl 300 m Bf. feletti területei

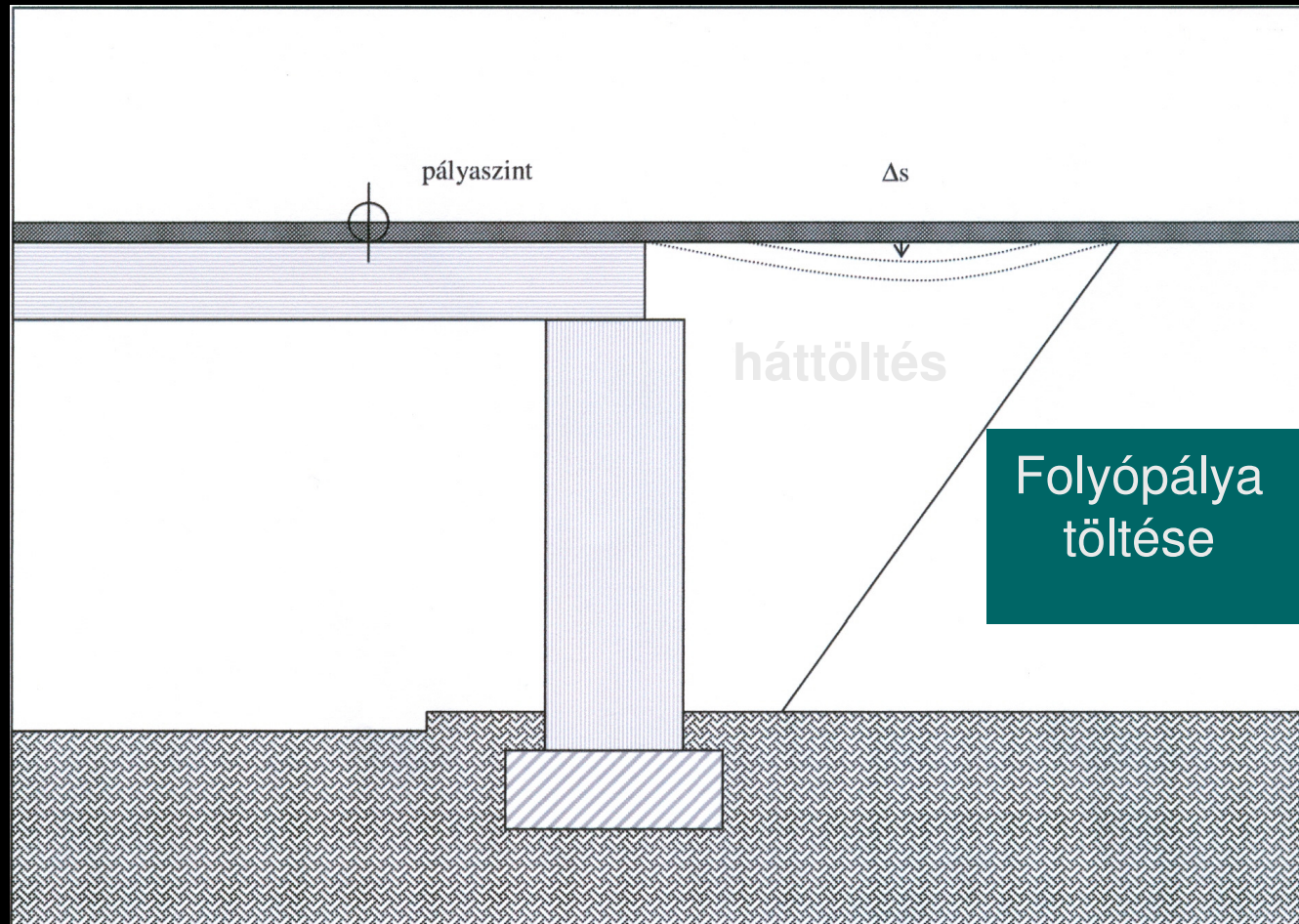
III. övezet: Északi-középhegység és Tiszántúlnak a Sebes-Köröstől északra fekvő területe

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

A pályaszerkezeti réteg	"f"
Zúzottkő alapok Mechanikai stabilizáció	1,0
Cementtel stabilizált talaj	1,1
Aszfaltmakadám Cementtel stabilizált homokos kavics	1,2
Beton burkolat alap C12-ig	1,3
Beton burkolat alap C12-től	1,4
Hengerelt aszfalt és öntött aszfalt	1,5

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Háttöltések



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Háttöltés süllyedésének az okai:

- a műtárgy elkészülése után készül befejező munkaként
- kicsi a hely a tömörítésre
- más jellegű tömörítőeszközök használhatók
- altalaj összenyomódása miatt is süllyedhet
-

Védekezés módjai

- jó háttöltőanyag alkalmazása -> homokos kavics
- tömörítés maximum 25-30 cm-es rétegekben
- $T_{rp} \geq 95\%$
- a töltéshez lépcsőzéssel csatlakozni
- a háttöltés víztelenítését gondosan kell tervezni és építeni
- uszólemez alkalmazása a műtárgyaknál
- a háttöltésbe a beépített szemcsés réteg felső szintjén a tehrbírás $E_2 = 60 \text{ MN/m}^2$ legyen

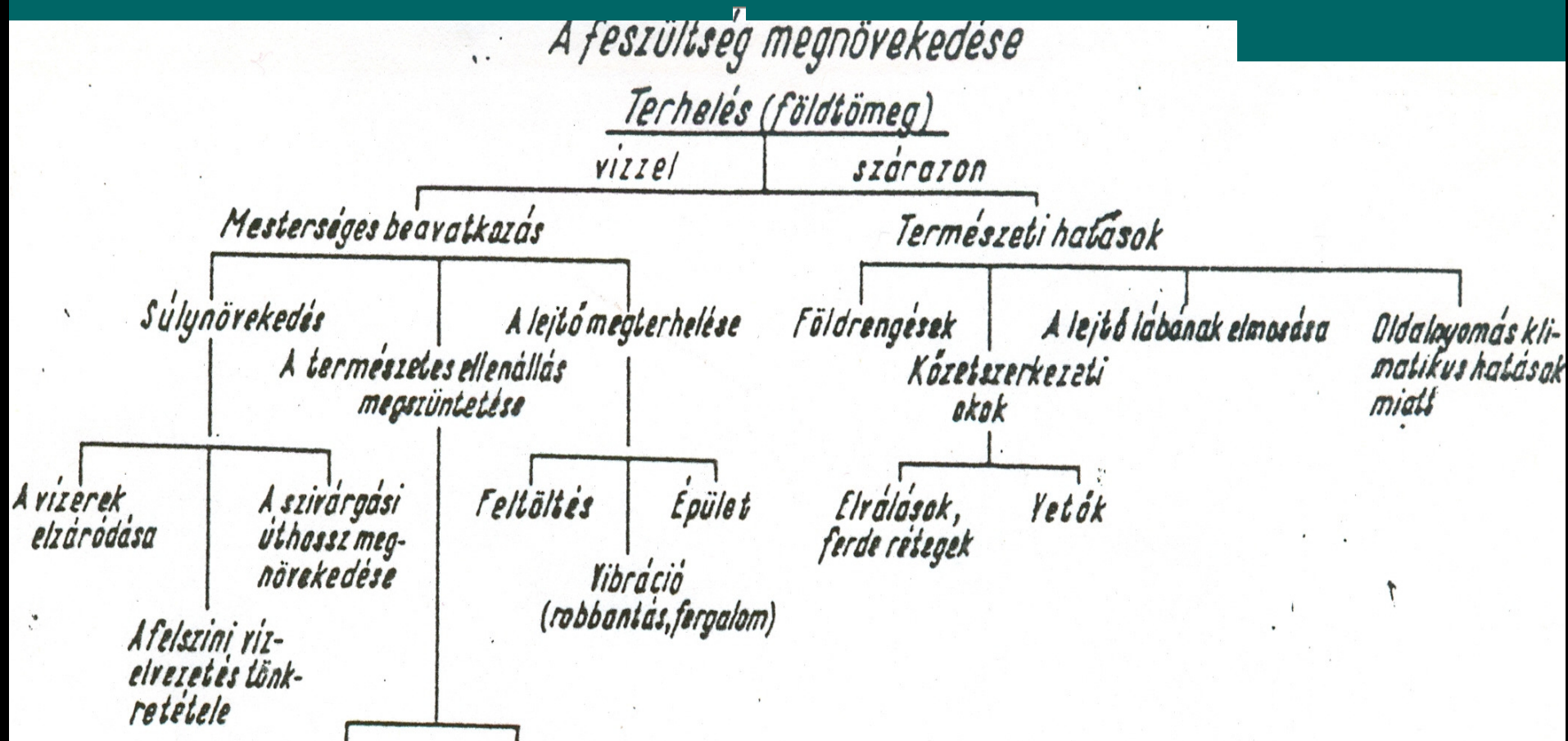
KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Földművek építése csúszásos területen, terepmozgások

A földművek tönkremenetelét a földmű anyagának vagy az altalajnak az elégtelen szilárdsága okozza. A természetes lejtők mozgásait terepmozgásoknak nevezzük. A terepmozgások megindulását sietteteti, ha a terepen mesterséges feltöltést készítünk. A terepmozgás okai:

- a külső ill. a belső feszültségek megnövekedése
- a belső ellenállások lecsökkenése

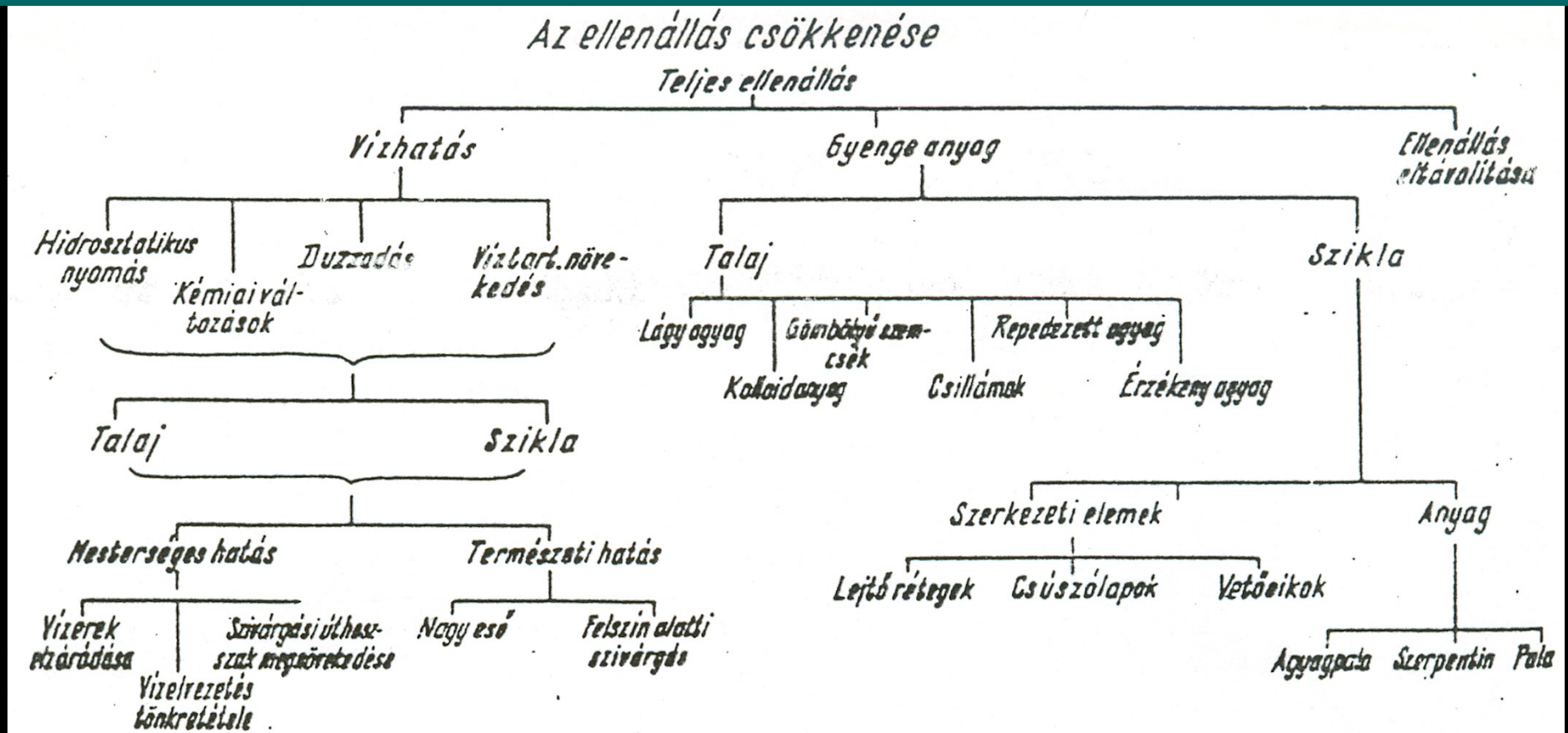
KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



Földkiemelés a lábánál

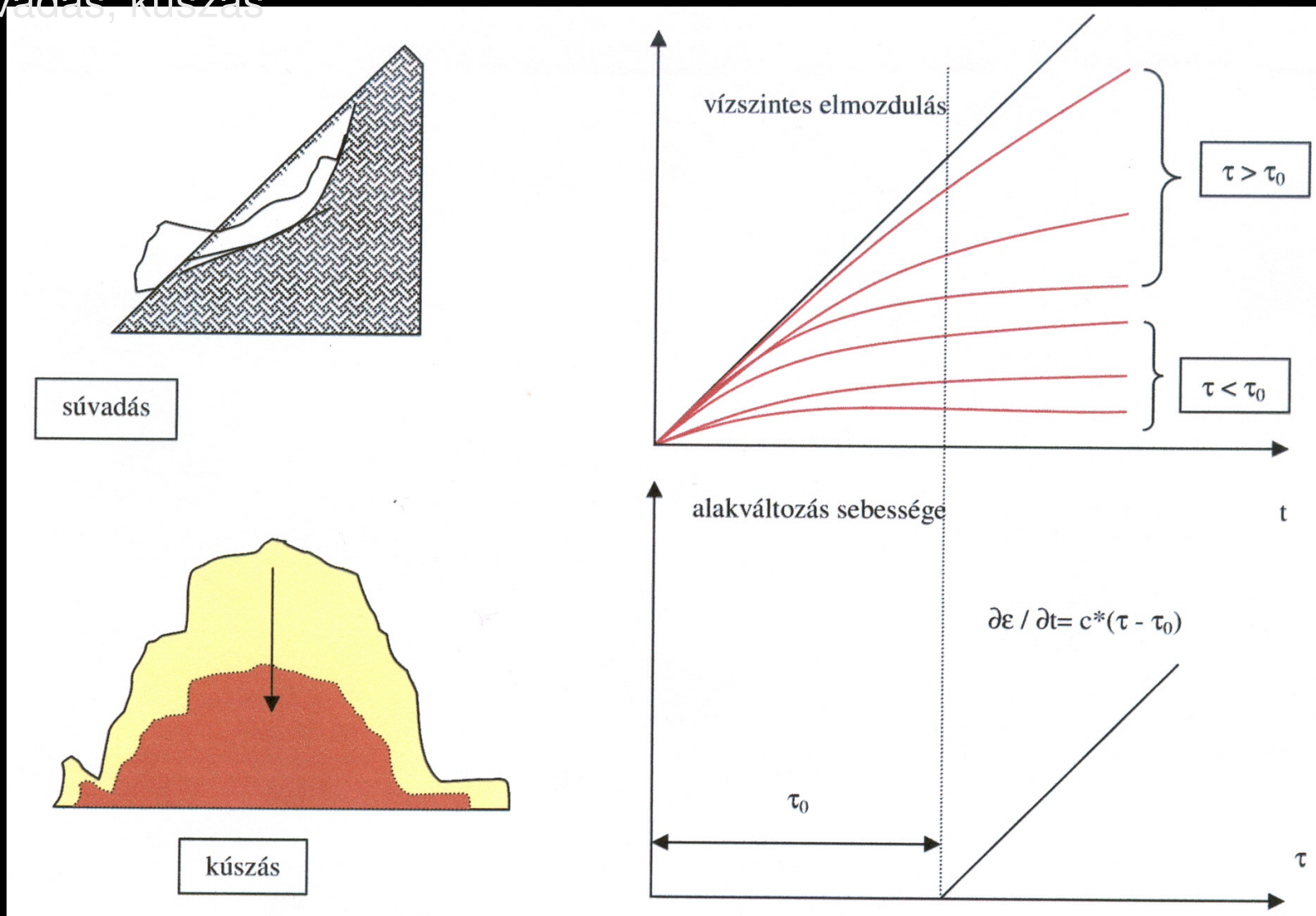
Túl merdek részsű

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

a, Suvadás, kúzás



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

$\tau < \tau_0$ nincs lassú alakváltozás

$\tau_0 < \tau < \tau_{\max}$ kúszás

$\tau = \tau_{\max}$ súvadás

a biztonság kúszásnál $v = \tau_0 / \tau$

súvadásnál $v = \tau_{\max} / \tau$

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

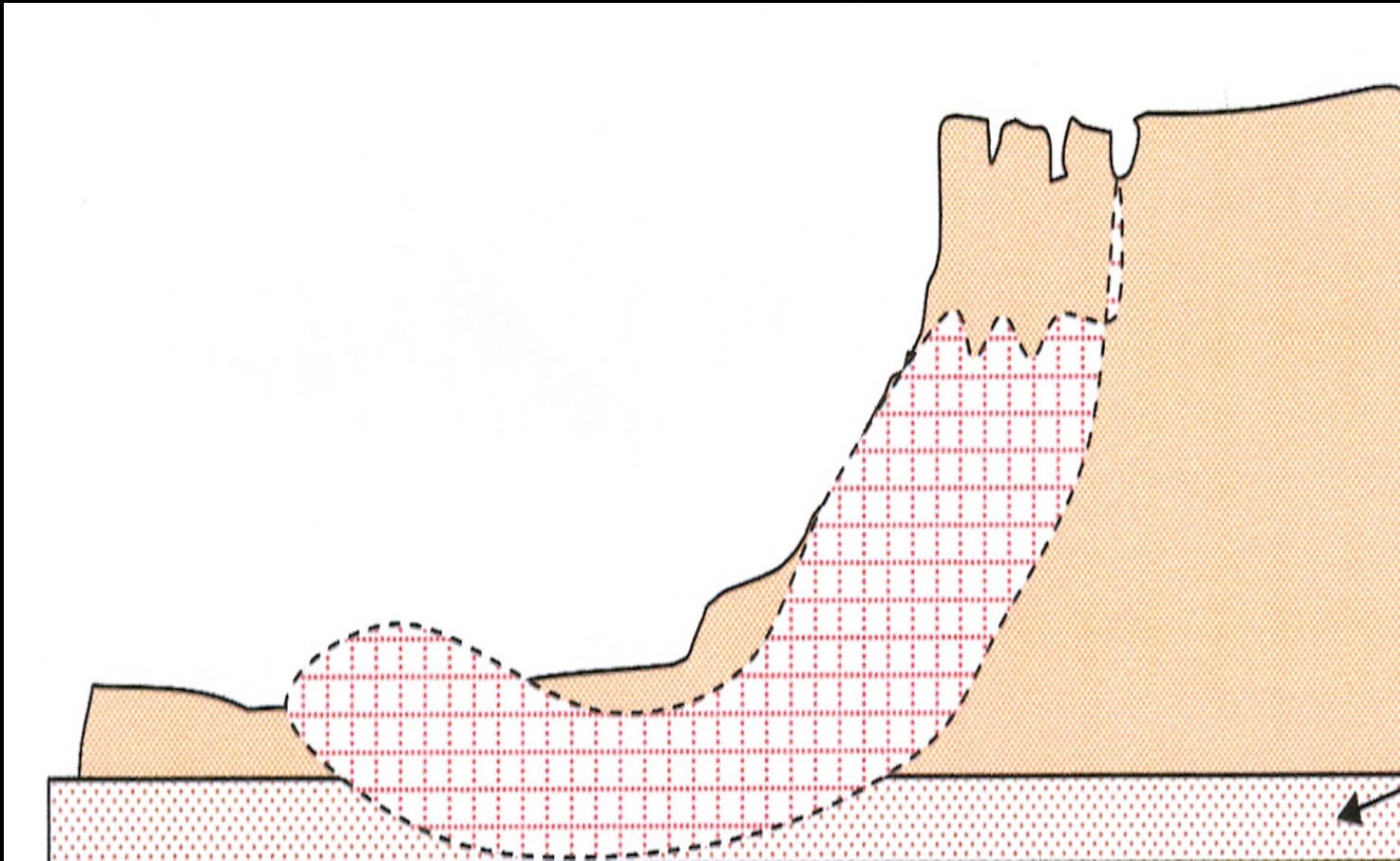
b, rogyás

Ha vízzel telített homokokban a víznyomás (semleges feszültség) megnő, akkor a nyírószilárdság lecsökken, így törés következhet be. Okok:

- rétegelzáródás fagy miatt
- rázkódás miatti megfolyósodás
- erős zápor hatására
- vízmozgás (?) folyós homokban

Gyors, általában előjel nélküli mozgás

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



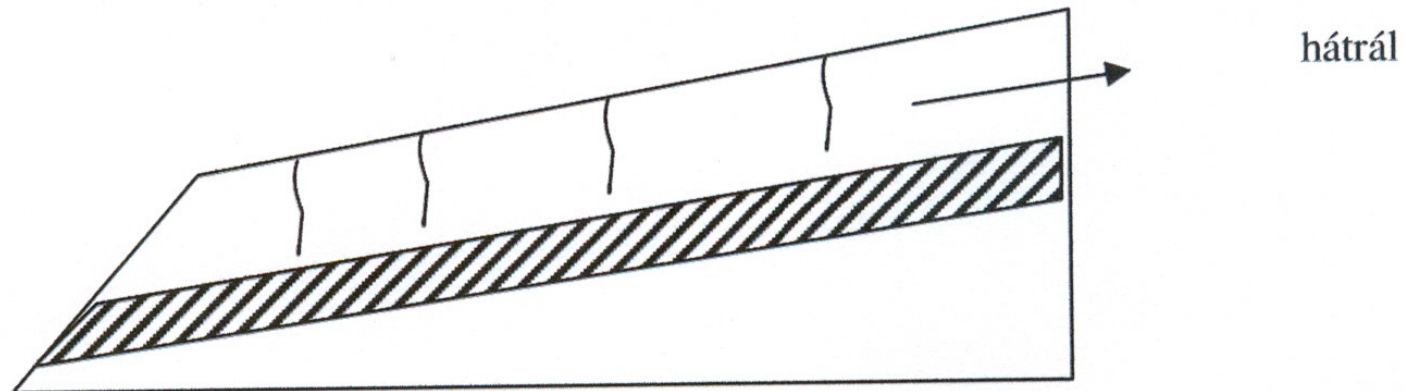
KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

C, rétegcsúszás

két talajréteg határfelületén



d, talajfolyás

- folyós homok esetén
- törmelékletők csúszásai
- érzékeny anyagok folyásai (Svédország, Norvégia)

e, omlás

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

C, rétegcsúszás



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

C, rétegcsúszás



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

C, rétegcsúszás



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

C, rétegcsúszás











KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



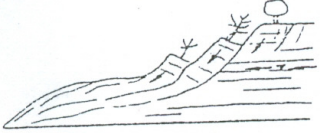
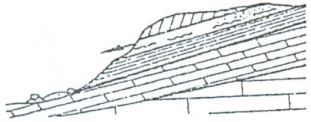
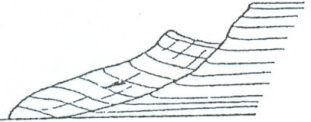
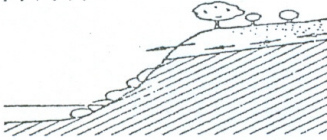
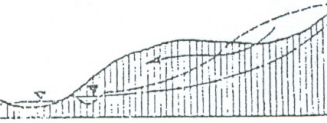
KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



31/03/2011

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

– A bevágási földrézsűk jellegzetes mozgástípusai

Típus	Képe	Jelenség	Talajfajta	Legvalószínűbb ok
Suvadás		Csúszásgörbe csúszólapon néhány nap alatt	Többé-kevésbé homogén kövér agyagtalaj	Hibás rézsűhajlás, szilárdságcsökkenés
Rétegcsúszás		Viszonylag lassú csúszás réteghatáron	Jellemzően agyagréteg felszínén	Hibás rézsűhajlás, rétegvíznyomás növekedése
Rogyás		Gyors leszakadás meredek, körhöz közeli alakú csúszólapon	Homoklencsékkel rétegzett talaj a rézsűlábánál	Víznyomás-növekedés
Kúszás		Nagyon lassú, általában időszakos lejtőmozgás	Puha, sokszor túlkonzolidált agyag	Viszkózus anyagjellemzők
Folyás		Lassú, de néha felgyorsuló mozgás felszínközeli csúszólapon	Puha agyag, folyós homok, kőanyag	Felpuhulás, gyors telítődés, dinamikus hatás

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

– A töltésrészűk jellegzetes mozgástípusai

Típus	Képe	Jelenség	Kőzetfajta	Legvalószínűbb ok
Alaptörés		Építés közbeni csúszás az altalajba lehatoló csúszólapon	Puha agyag, szerves talaj, tőzeg	Túlzottan gyors töltésépítés
Le- ill. szétcsúszás		Építés közbeni csúszás a talpon vagy kevésbé alatta kialakuló sík csúszólapon	Kisszilárdságú felszín, zárt, telített réteg a talp alatt	Hibás töltéstalp, pórusvíznyomás túlzott növekedése
Suvadás		Csúszás a töltésben mélyebben futó görbe csúszólapon	Jellemzően agyagos talaj	Hibás rézsűhajlás, tömörítetlen, felpuhuló töltésanyag
Hámlás		Csúszás a rézsűfelület közelében haladó csúszólapon	Jellemzően átmeneti talaj	Tömörítetlen, füvesítetlen meredek rézsű
Eróziós kimosódás		Építés közbeni és utáni árkos kimosódás	Tömörítetlen iszap, finom homok	Tömörítetlen, füvesítetlen meredek rézsű, záporhatás

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

- ◆ **Téma: Földművek építése, MSZ EN 1997-1 EUROCODE**
- ◆ A földmű anyagai
- ◆ Osztályozás, minősítés, értékelés (az építéshez)
- ◆ Termett talajok
- ◆ Töltésanyagok
- ◆ **Geoműanyagok**
- ◆ **Tervezési, kivitelezési irányelvek (külön!)**
- ◆ Földművek keresztmetszeti kialakítása (anyagok, méretezés, kivitelezés)
- ◆ Töltésalapozás
- ◆ Töltéstest
- ◆ Többfunkciós réteg
- ◆ Tömörítési, teherbírési kérdések
- ◆ Tervezés
- ◆ Ellenőrzés
- ◆ Kivitelezés
- ◆ Vizsgálati módszerek (mikor, mit, mivel)
- ◆ Példák, esetek

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

A földmű anyagai

Osztályozás, minősítés, értékelés (az építéshez)

Termett talajok

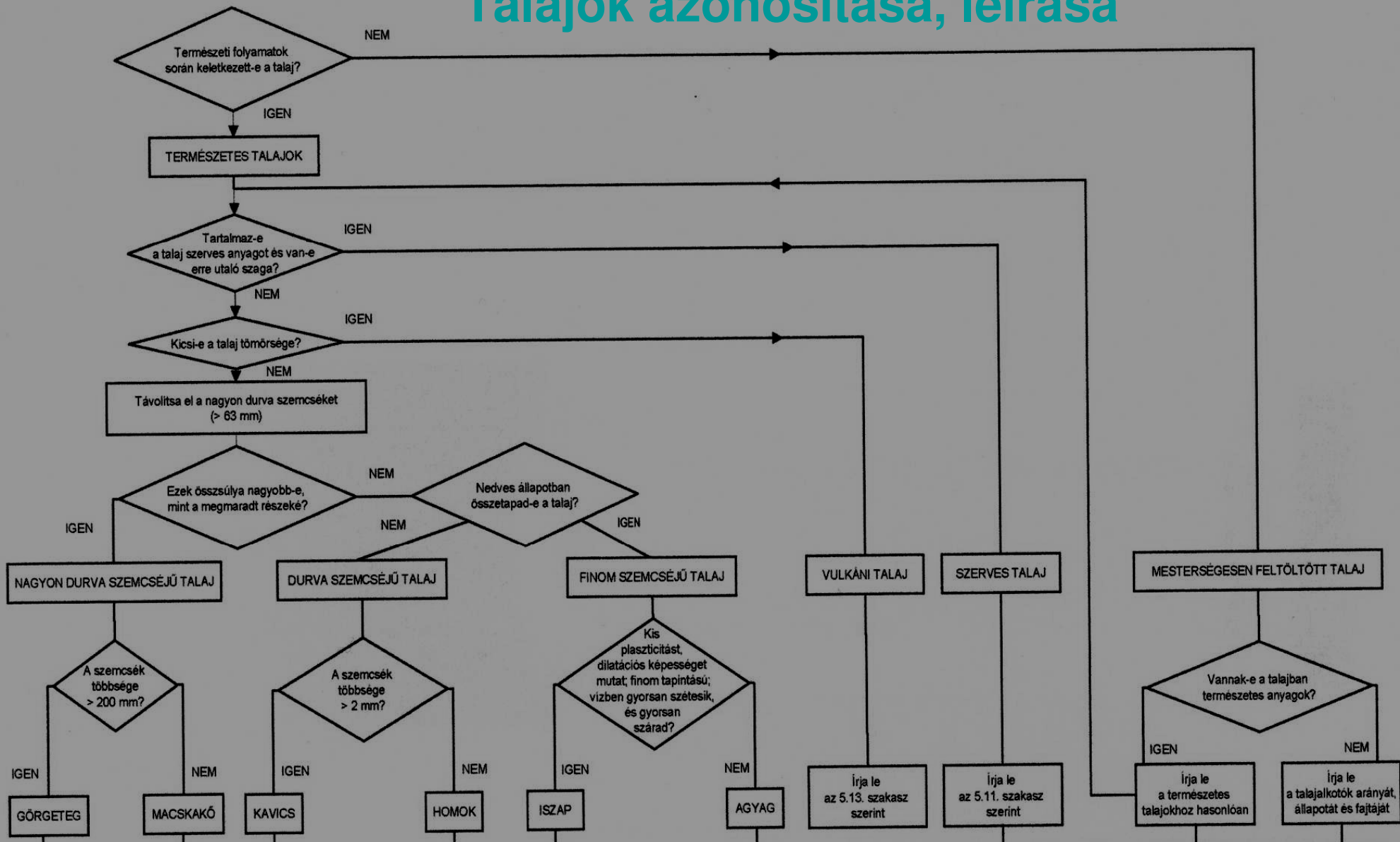
MSZ EN 14688-1; MSZ EN 14688-2; MSZ 14043-2

Szilárd közetek

MSZ EN 14689-1

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Talajok azonosítása, leírása



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Szemcsecsoport	Szemcsefrakció	Jelölés	Szemcseméret (mm)
Nagyon durva	Kötömb	LBo	> 630
	Görgeteg	Bo	> 200–630
	Macskakő	Co	> 63–200
Durva	Kavicsok	Gr	> 2,0–63
	Durva kavics	CGr	> 20–63
	Közepes kavics	MGr	> 6,3–20
	Apró kavics	FGr	> 2,0–6,3
	Homokok	Sa	> 0,063–2,0
	Durva homok	CSa	> 0,63–2,0
	Közepes homok	MSa	> 0,2–0,63
	Finom homok	FSa	> 0,063–0,2
Finom	Iszapok	Si	> 0,002–0,063
	Durva iszap	CSi	> 0,02–0,063
	Közepes iszap	MSi	> 0,0063–0,02
	Finom iszap	FSi	> 0,002–0,0063
	Agyag	CI	≤ 0,002

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

A talajok osztályozása a plaszticitási index alapján

Plaszticitási index I_p	Csoportnév az MSZ EN ISO 14688-2 szerint	Megnevezés
10%-nál kisebb	nem plasztikus	(szemeloszlás alapján)
10 és 15% között	kissé plasztikus	iszap
15 és 20% között	közepesen plasztikus	sovány agyag
20 és 30% között		közepes agyag
30%-nál nagyobb	nagyon plasztikus	kövér agyag

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

2. táblázat: Szerves talajok megnevezése és jellemzése

Megnevezés	Jellemzés
Rostos tőzeg	Rostos szerkezet, könnyen felismerhető növényi szerkezet, csekély szilárdság.
Rostos megjelenésű tőzeg	Felismerhető növényi szerkezet; de annak már nincs szilárdsága.
Amorf tőzeg	Növényi szerkezet nem látható, pépszerű konzisztencia.
Mocsári üledék (gyttja)	Lebomlott növényi és állati maradványok; lehetnek szervesetlen összetevői is.
Humusz	Növényi maradványok, élő szervezetek és váladékaik szervesetlen összetevőkkel vegyesen; ez alkotja a termőtalajt.

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

3. táblázat: Vulkáni talajok megnevezése és jellemzése

Megnevezés		Szemcseméret (mm)	Jellemzés
Vulkáni bomba		> 63	–
Lapilli	–	> 2,0–63	–
	Horzsakő		Fehér, likacsos szemcsék.
	Vulkáni salak		Fekete, likacsos szemcsék.
Vulkáni hamu	Vulkáni homok	≤ 2,0	A talaj geotechnikai tulajdonságai a területre jellemzően különbözhetnek.
	Vulkáni tufa		A talajnak többnyire helyi elnevezése van.

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Talajok földműanyagként való minősítése

Minősítések: (M-1) - (M-6)

Kíváló, jó, megfelelő, elfogadható, alkalmassá tehető, nem beépíthető

Minősítést befolyásoló tényezők

Szemcsés talajoknál:

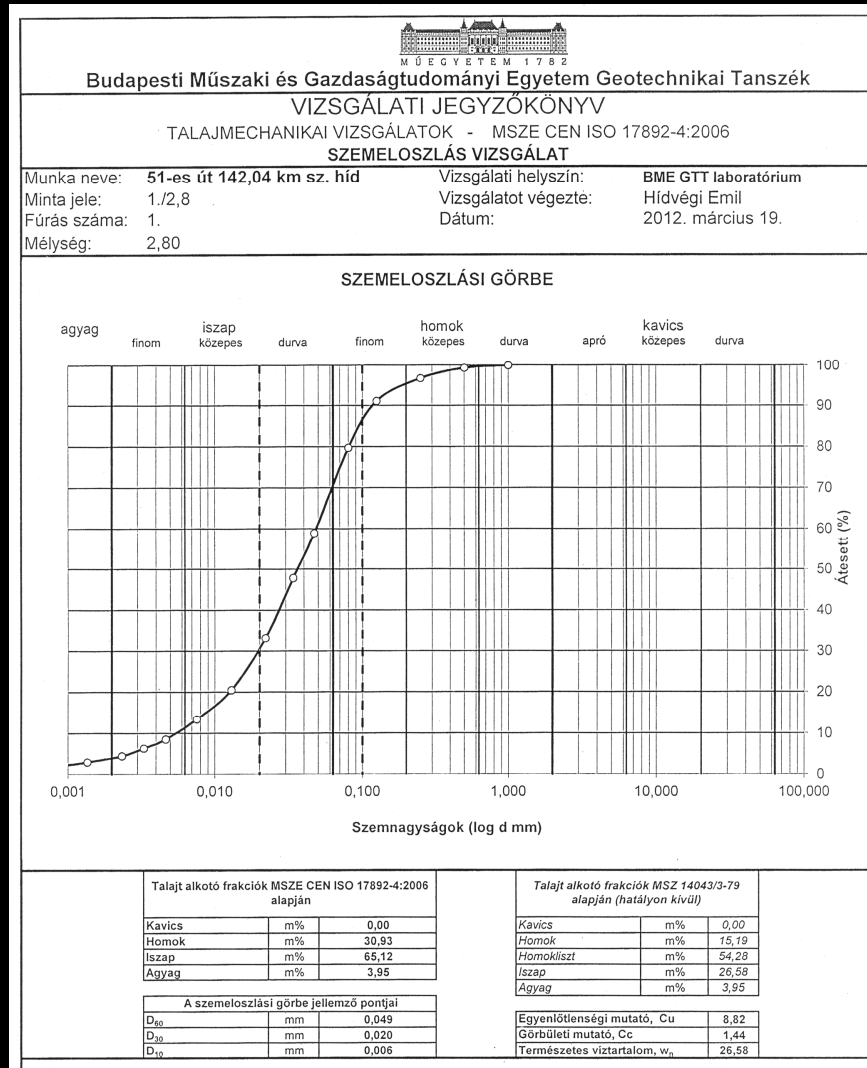
C_u ; $S_{0,063} = ???\%$, szemeloszlás folytonossága

Kötött talajoknál:

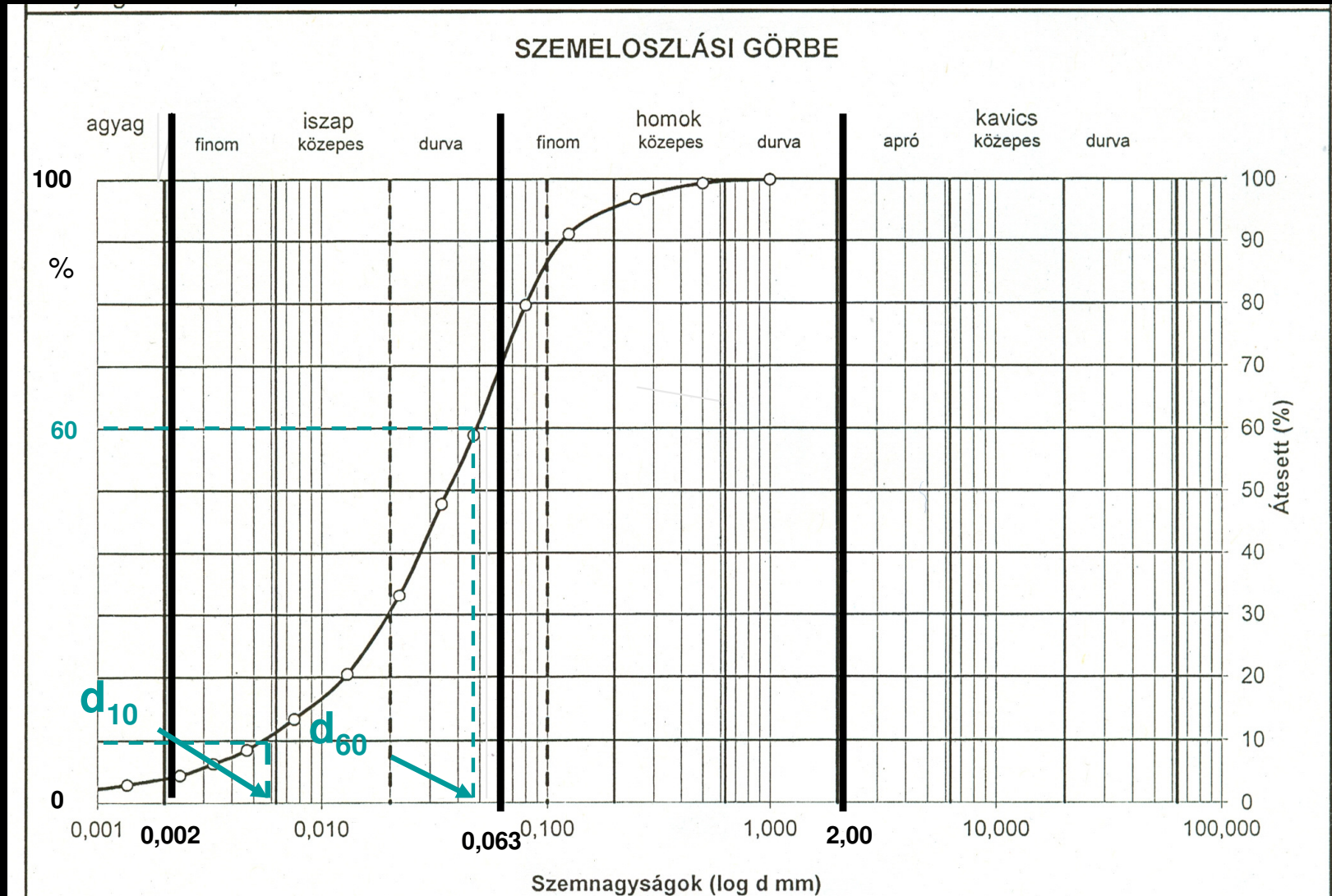
I_p ; w , de inkább I_c

Általában: szervesanyag tartalom

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Talajt alkotó frakciók MSZE CEN ISO 17892-4:2006 alapján		
Kavics	m%	0,00
Homok	m%	30,93
Iszap	m%	65,12
Agyag	m%	3,95

A szemeloszlási görbe jellemző pontjai		
D ₆₀	mm	0,049
D ₃₀	mm	0,020
D ₁₀	mm	0,006

Talajt alkotó frakciók MSZ 14043/3-79 alapján (hatályon kívül)		
Kavics	m%	0,00
Homok	m%	15,19
Homokliszt	m%	54,28
Iszap	m%	26,58
Agyag	m%	3,95

Egyenlőtlenégi mutató, Cu	8,82
Görbületi mutató, Cc	1,44
Természetes víztartalom, w _n	26,58

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Geotechnikai Tanszék

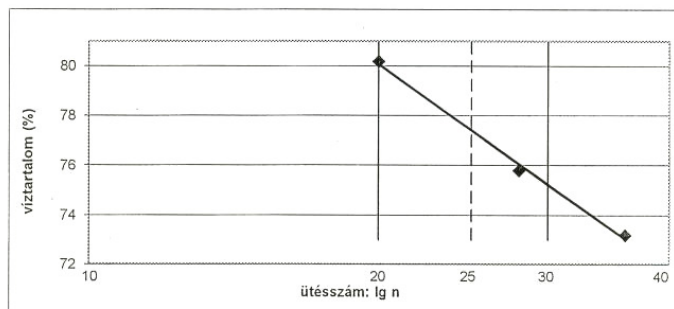
BME Geotechnikai Tanszék Laboratóriuma

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

Konzisztencia határok (MSZ 14043-4)

Minta származási helye: 51-es út 142,04 km sz. híd

Minta jele	Ütés szám	Óraüveg száma	$m_n + \text{üveg}$	$m_n - m_s$	w (%)
			$m_s + \text{üveg}$	m_s	
1/1,40	36	238	71,02	10,60	73,2
			60,42	14,48	
			45,94		
	28	185	77,70	13,20	75,8
			64,50	17,42	
			47,08		
	20	374	71,95	12,25	80,2
			59,70	15,28	
			44,42		
	w_p (%)	309	62,39	3,52	24,9
			58,87	14,12	
			44,75		
Folyási határ:				w_L (%)	77,4
Sodrás határ:				w_p (%)	24,9
Plasztikus index:				I_p (%)	52,5
Természetes víztartalom:				w_n (%)	52,7
Relatív konzisztencia index:				I_c (%)	0,47



Budapest, 2012.03.19

Készítette: Hídvégi Emil

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Földművek szerkezeti kialakítása (anyagok, méretezés, kivitelezés)

Töltéstalp kialakítása

- a terület járhatóságának, a töltéstest megépíthetőségének a biztosítása
- óvja a töltéstestet a felszíni, ill. felszín alatti vízhatásoktól
- a töltéstestnél teherbírasi (pl. csúszás, alaptörés), vagy használhatósági (pl. süllyedés) határállapot ne következzen be, **töltésalapozás!!!**

Az altalajnál tömörségi fokot, teherbírást nem kell továbbépítési feltételként előírni!!!! Lényeg, a töltés első rétegének megépíthetősége!!!

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Töltéstalp kialakítása

Befolyásoló tényezők

Altalaj: kötött, vagy szemcsés, esetleg szerves

Altalaj állapot: főleg kötött talajnál

Víz: talajvíz + kapilláris vizek, felszíni vizek (pl. belvíz)

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Töltéstalp kialakítása

Szemcsés altalaj

Általában megfelelő mind teherbírás, mind alakváltozások szempontjából

Kötött altalaj

Mindenféle víz jelenléte alapvetően meghatározó a kötött talaj állapotára!!!!

Itt valamilyen intézkedés mindenképpen szükséges!!!!

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Töltéstalp kialakítása

Kötött altalaj esetén

Jó talajállapotnál ($I_c \geq 0,75$)

Elválasztás, víztelenítés a talpon, esetleg kapilláris megtörő réteg beépítése

Elválasztó geotextília, megfelelő talpárok, szemcsés réteg ($S_{0,063} \leq 5\%$) beépítése

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Töltéstalp kialakítása

Kötött altalaj esetén

Kedvezőtlen talajállapotnál ($I_c \leq 0,75$) töltésmagasságtól függően

**Töltésalapozás különböző
megoldásokkal!!!!**

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Töltésalapozások

Talperősítés geoműanyagok és szemcsés réteg alkalmazásával

Erősítés: georácsokkal, szőtt geotextiliákkal

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Töltésalapozások

Talajjavítással

Talajcsere

Mélytömörítés laza szemcs.

Függőleges drénezés 1-2,5 m 

Kavicscölöpözés $\Phi 40 \rightarrow \Phi 100$

Dinamikus talajcsere 8-20 t,

$h=10-20$ m

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

„Töltésalapozás”

Lépcsős (időben) építés

Előterhelés (túltöltéssel)

Rézsűhajlás csökkentése

Töltéstömeg csökkentése

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Töltéstart

Anyag

- biztosítsa a magasságnak megfelelő állékonyságot
- lehetőleg bevágásból, ill. gazdaságos anyagnyerőh. ill. bányák

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Szerkezeti kialakítás

- > 8 m, ill. < 2 m \longrightarrow jó szemcsés anyagból
- felső 1,0 m \longrightarrow jó szemcsés anyagból
- rézsű ne legyen erózió érzékeny
- kedvezőtlenebb anyagok a töltés alsó zónájában

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Többfunkciós réteg (védőréteg)

- Javítóréteg → teherbírás (E_2)
- Fagyvédő → fagyvédelem
- Drén funkció → pályaszerk. víz-telenítése

KÖZLEKEDÉSI PÁLYÁK FÖLDMŰVEI

Teherbírás

E_{2m} méretezési teherbírési modulus

E_{2d} tervezési teherbírési modulus (a talaj várható kritikus állapotában)

$E_{2m} \approx E_{2d}$ homogén felső réteg esetén!

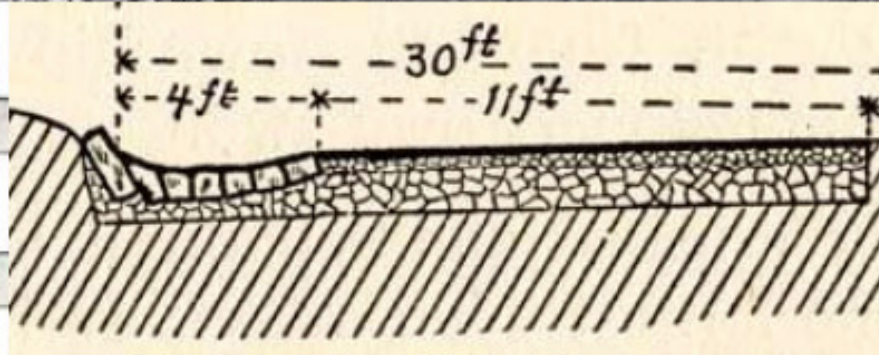
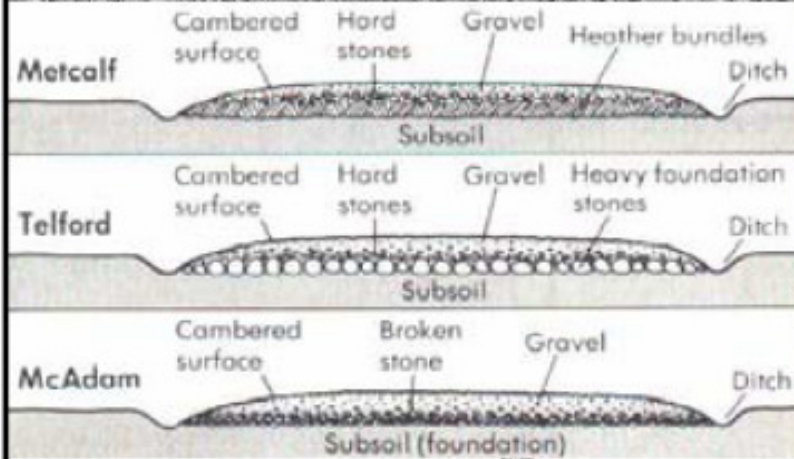
A mért kiv. E_2 - nek nagyobbnak kell lenni!!!

Földművek tervezése, minőségbiztosítása és monitoringja

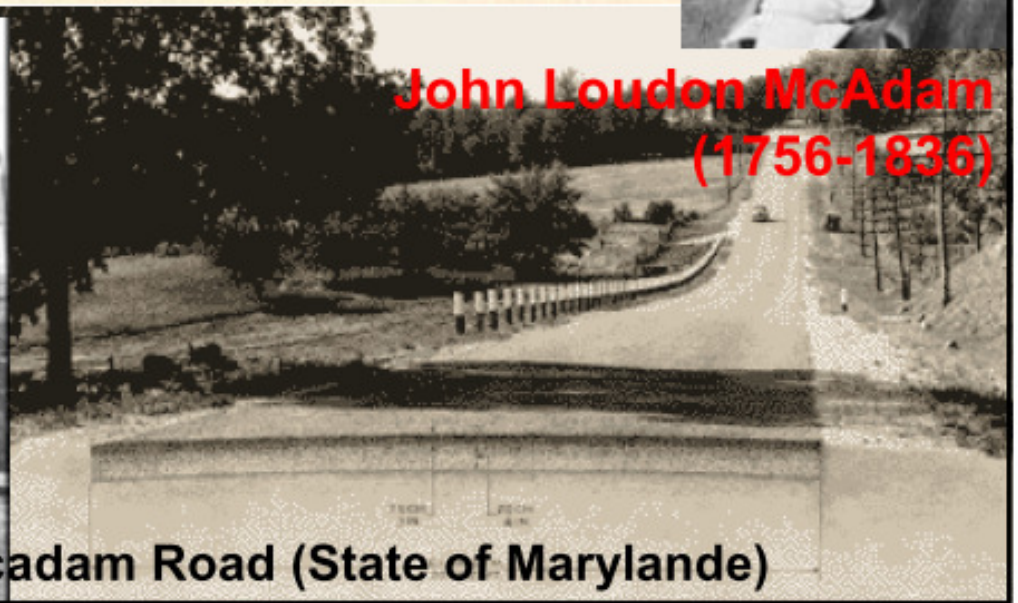
Ausztriában

Standardization, Design, Quality Assurance and Monitoring of

Earth Works in Road Engineering in Austria



**John Loudon McAdam
(1756-1836)**



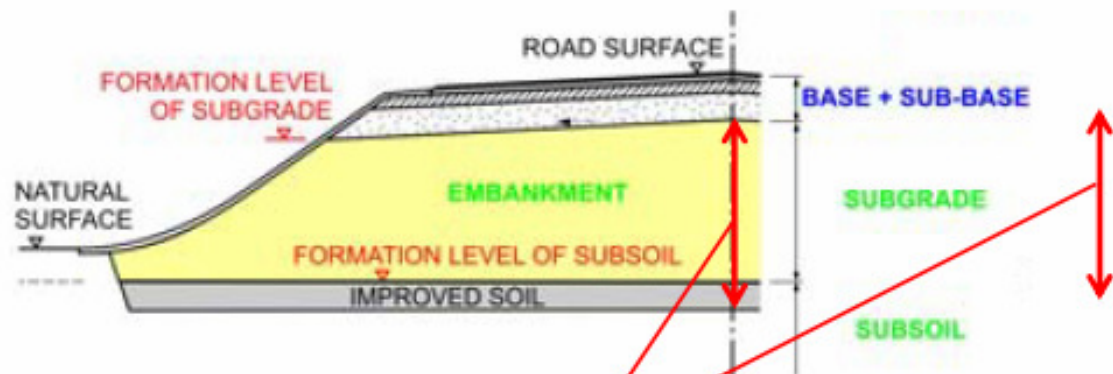
1823 – First American Macadam Road (State of Maryland)

[RVS 8.24]
„Earthworks“

⇒ RVS 08.03.01 [draft]
„Earthworks under Traffic Routes“

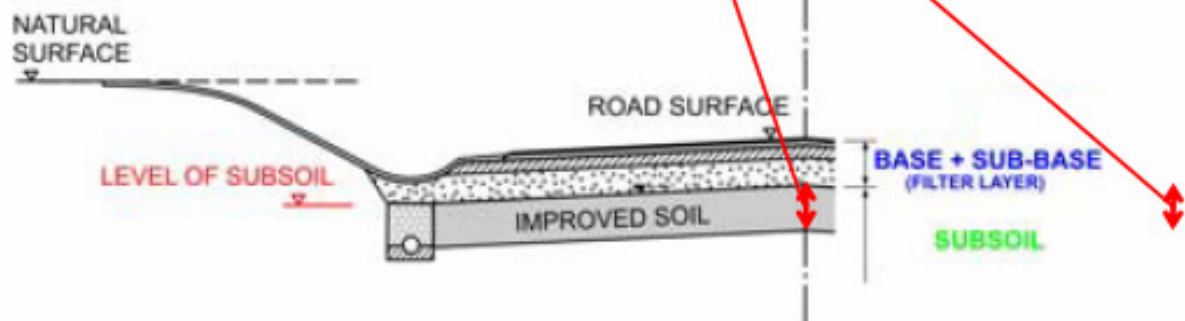
ROAD

TRACK IN
FILL



earthworks
(substructure)

TRACK IN
CUT



Surface-near and Deep Ground Improvement

surface-near

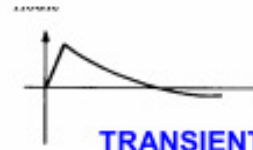
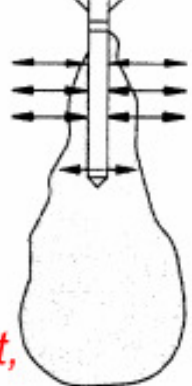
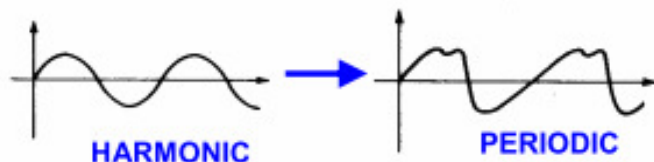
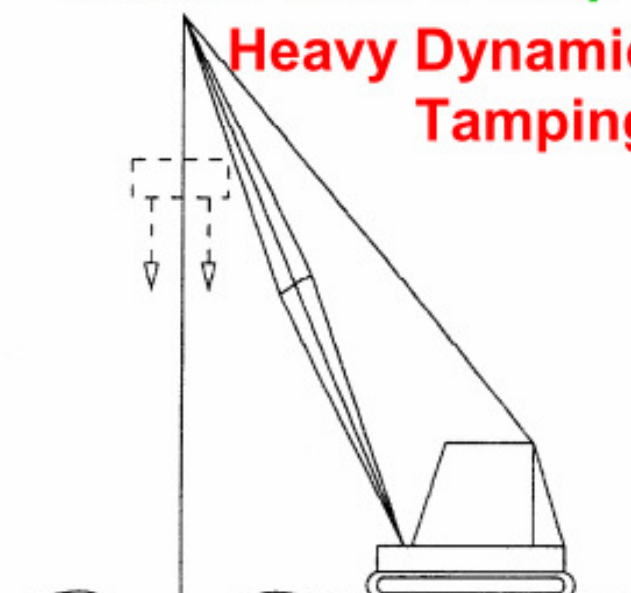
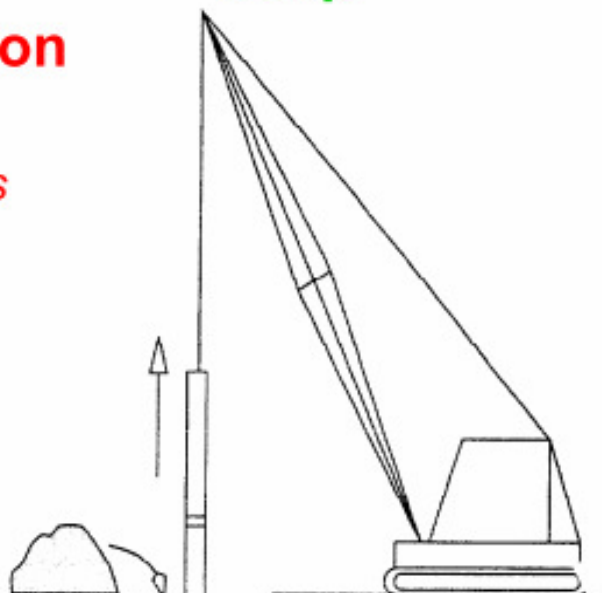
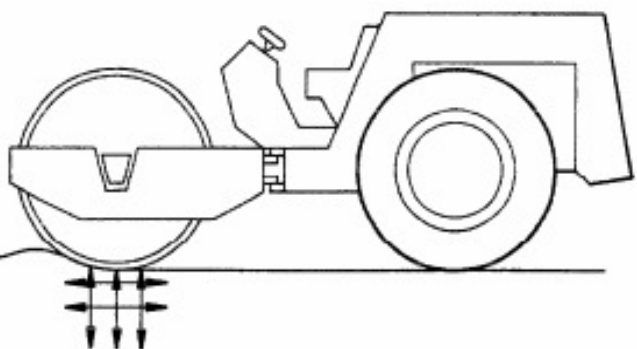
Dynamic roller compaction

*vibratory, oscillatory, VARIO,
automatically controlled rollers*

deep

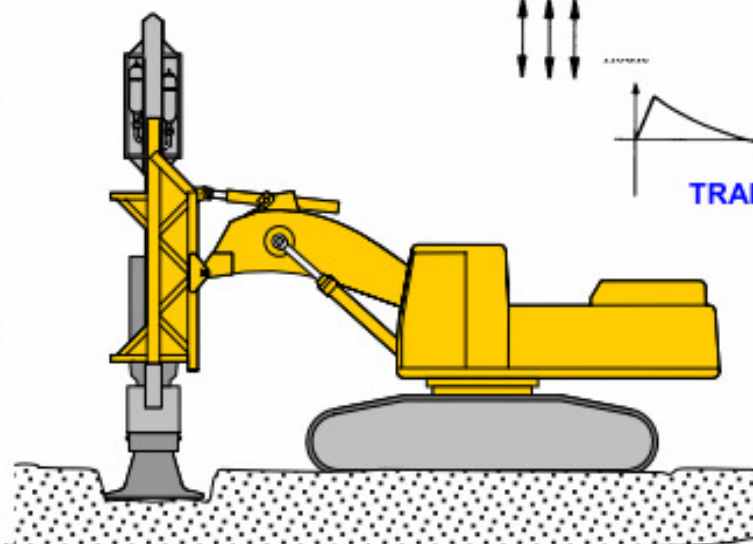
surface-near & deep

Heavy Dynamic Tamping

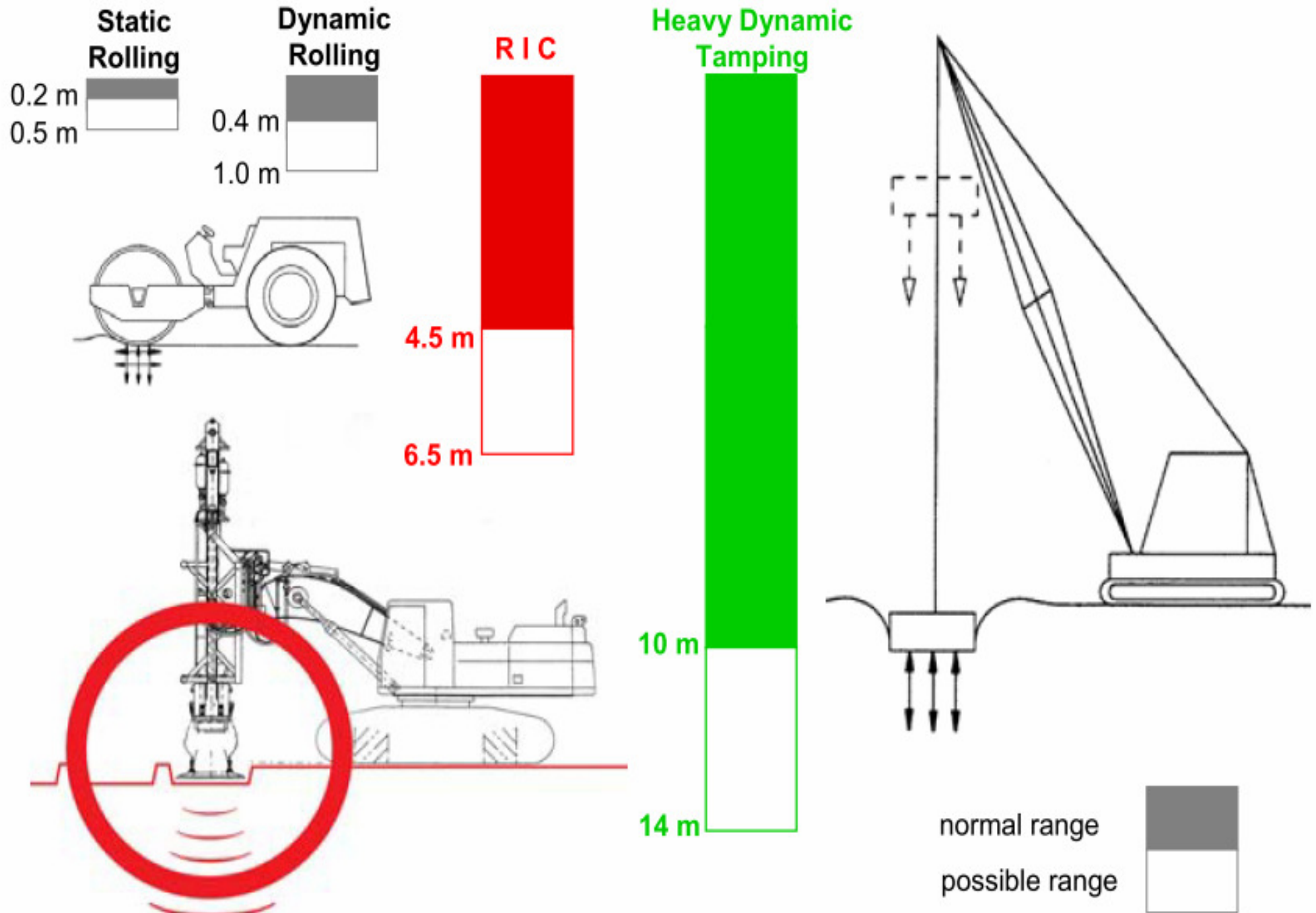


Deep vibro compaction
*vibro compaction, vibro replacement,
grouted stone/gravel columns*

Rapid Impact Compactor



Compaction Depth – Comparison of Techniques





Dynamic roller compaction





Continuous Compaction Control (CCC)

Deep Dynamic Compaction (Heavy Tamping)

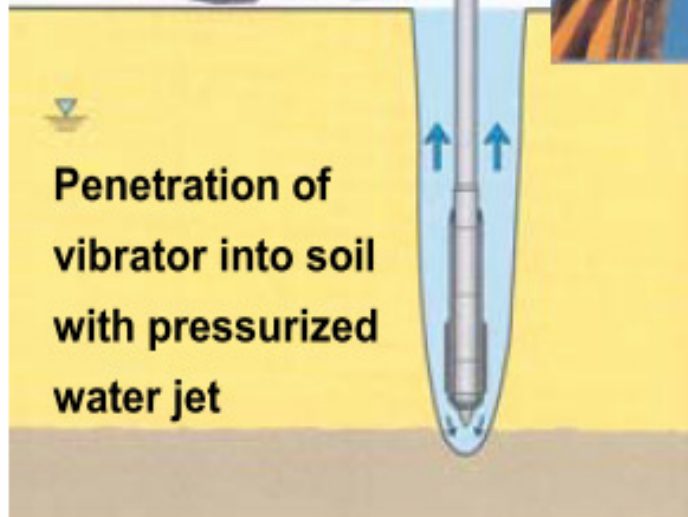




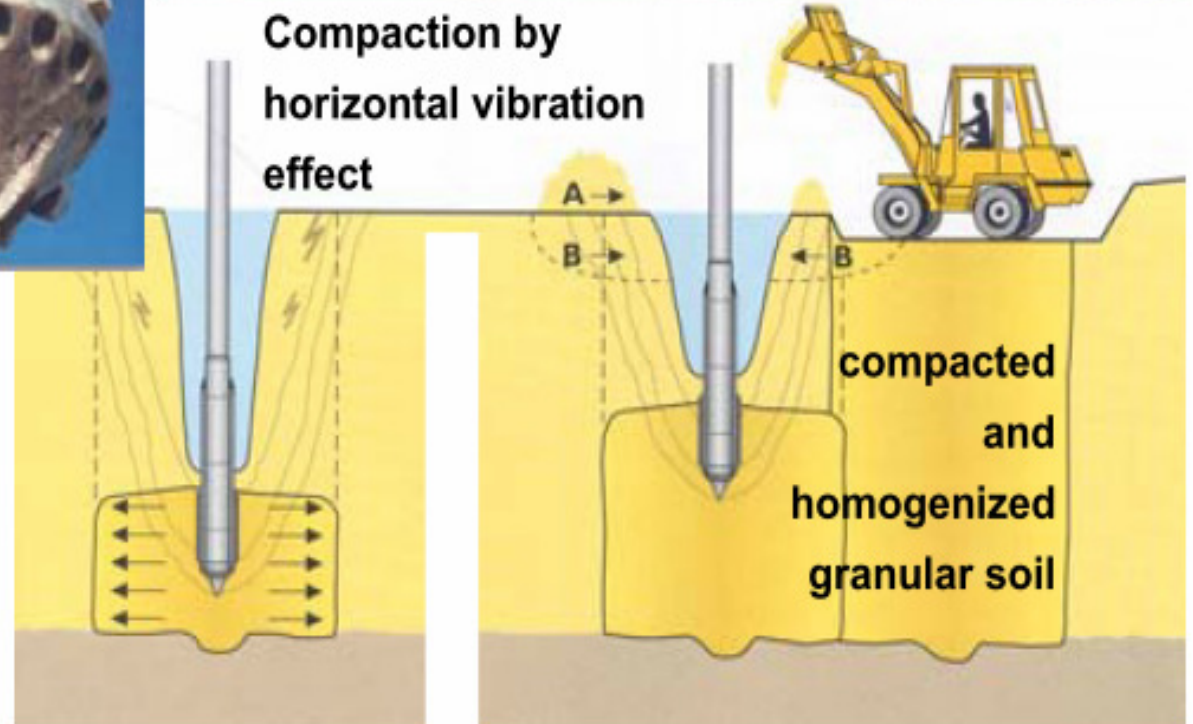
Rapid Impact Compactor (RIC)

Deep Vibro Compaction in Granular Material

Vibro Compaction
densification and
homogenization of
granular soil



Penetration of
vibrator into soil
with pressurized
water jet

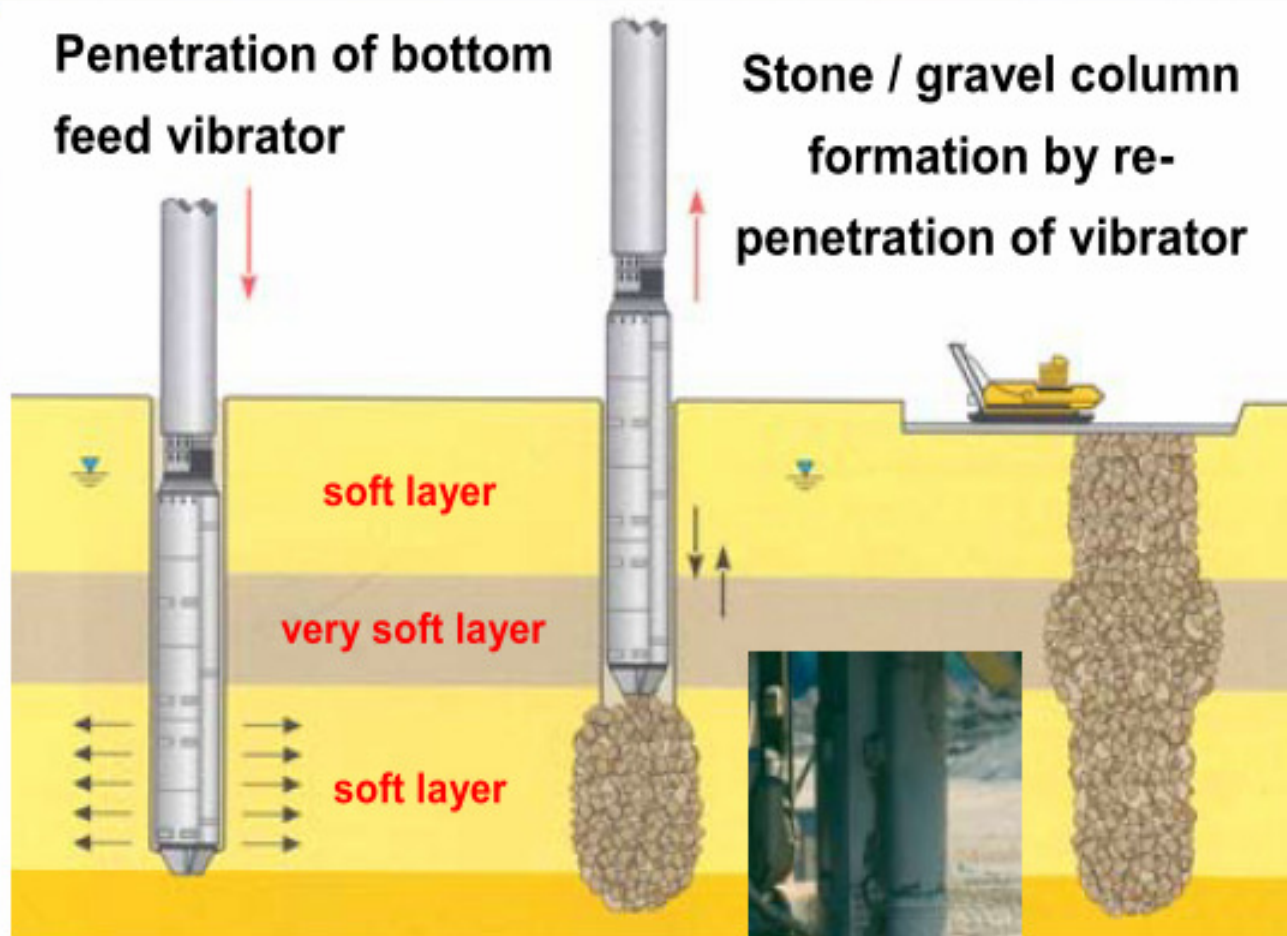


Compaction by
horizontal vibration
effect

compacted
and
homogenized
granular soil



Deep Vibro Replacement of Cohesive Soils

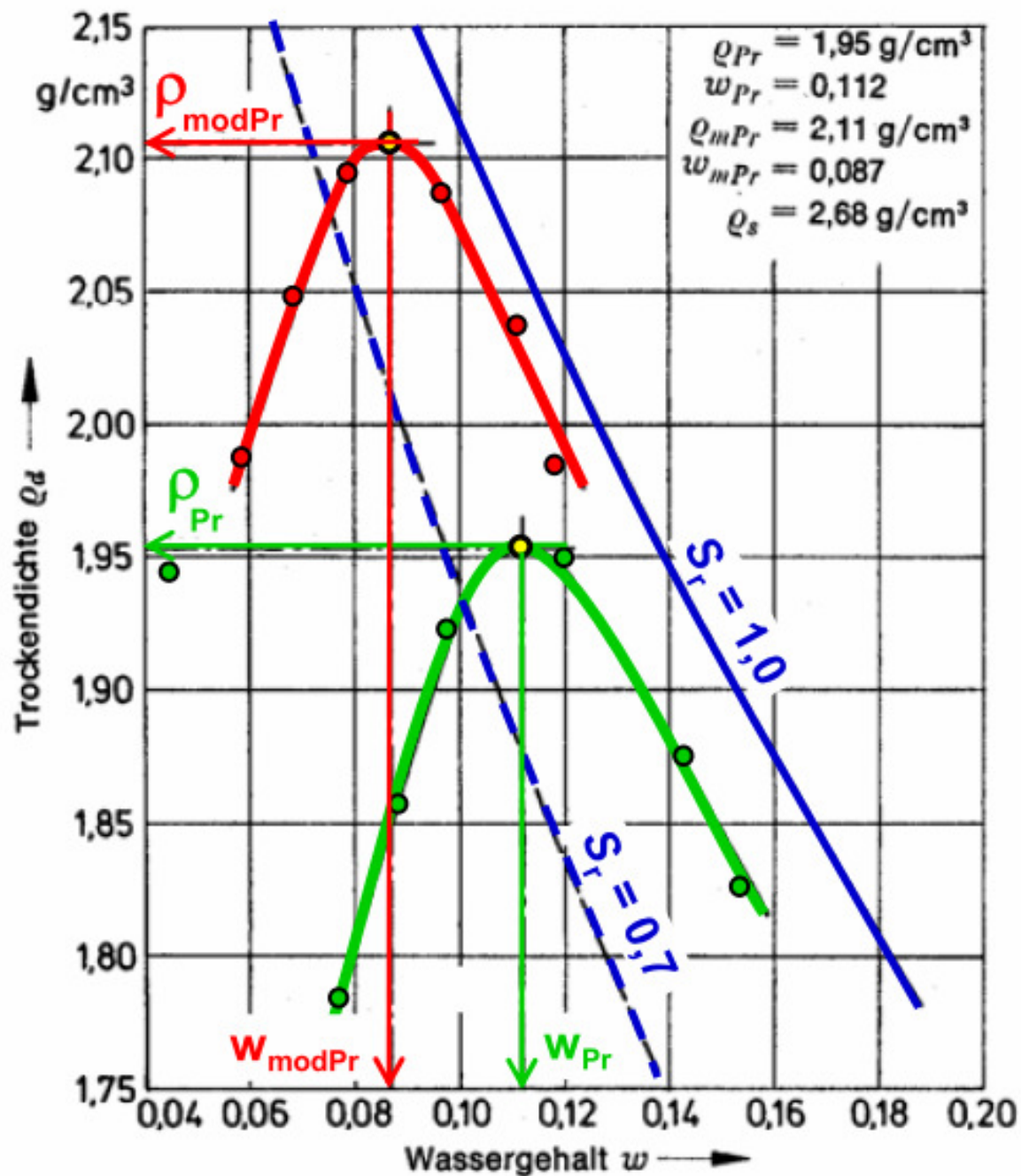


Vibro Replacement
formation of stone / gravel
columns and lateral
densification of soft soil

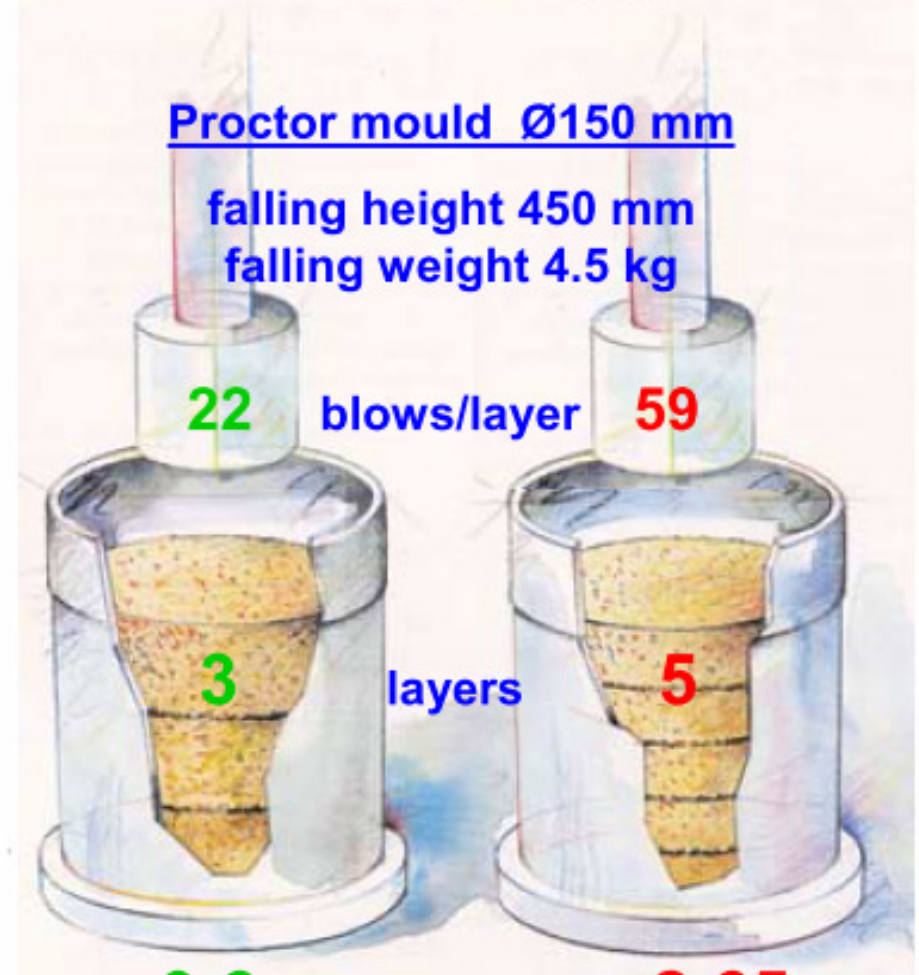
grouted
material
oder
concrete



Proctor Test



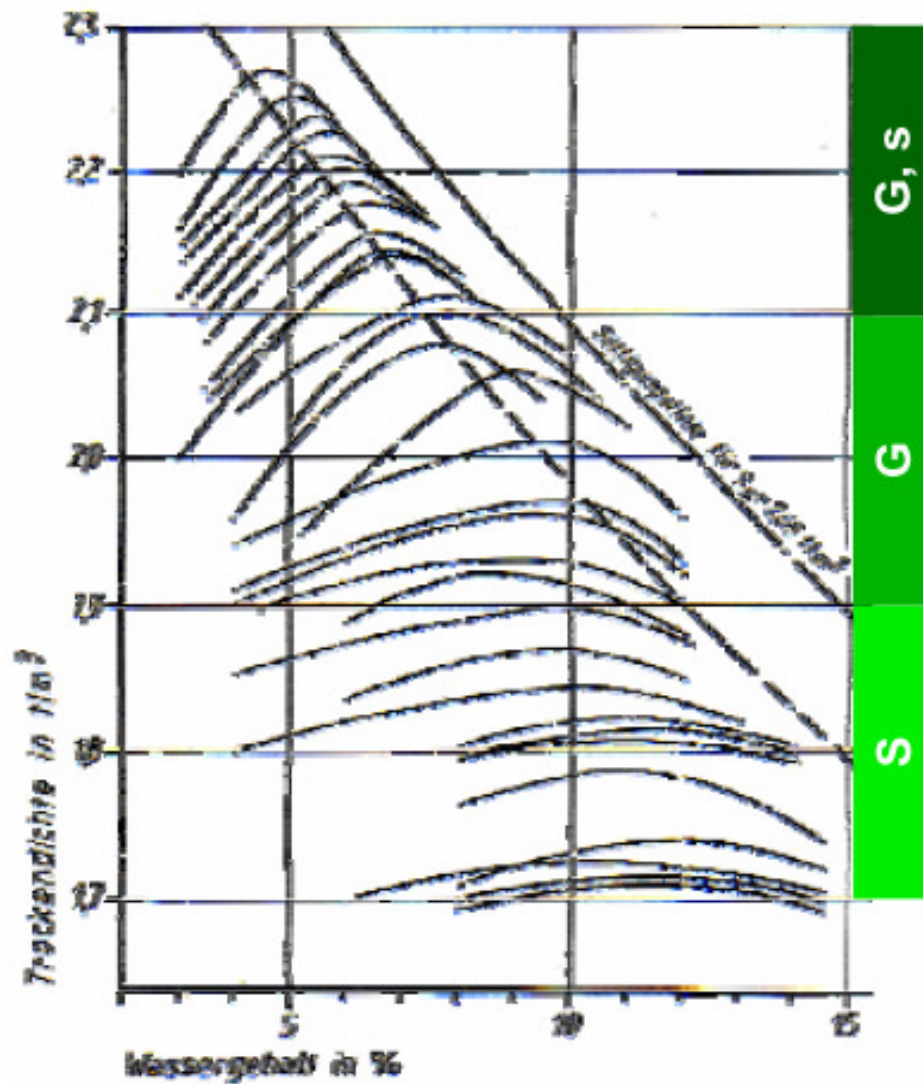
Standard Modified Proctor Test



0.6 energy [MJ/m³] 2.65

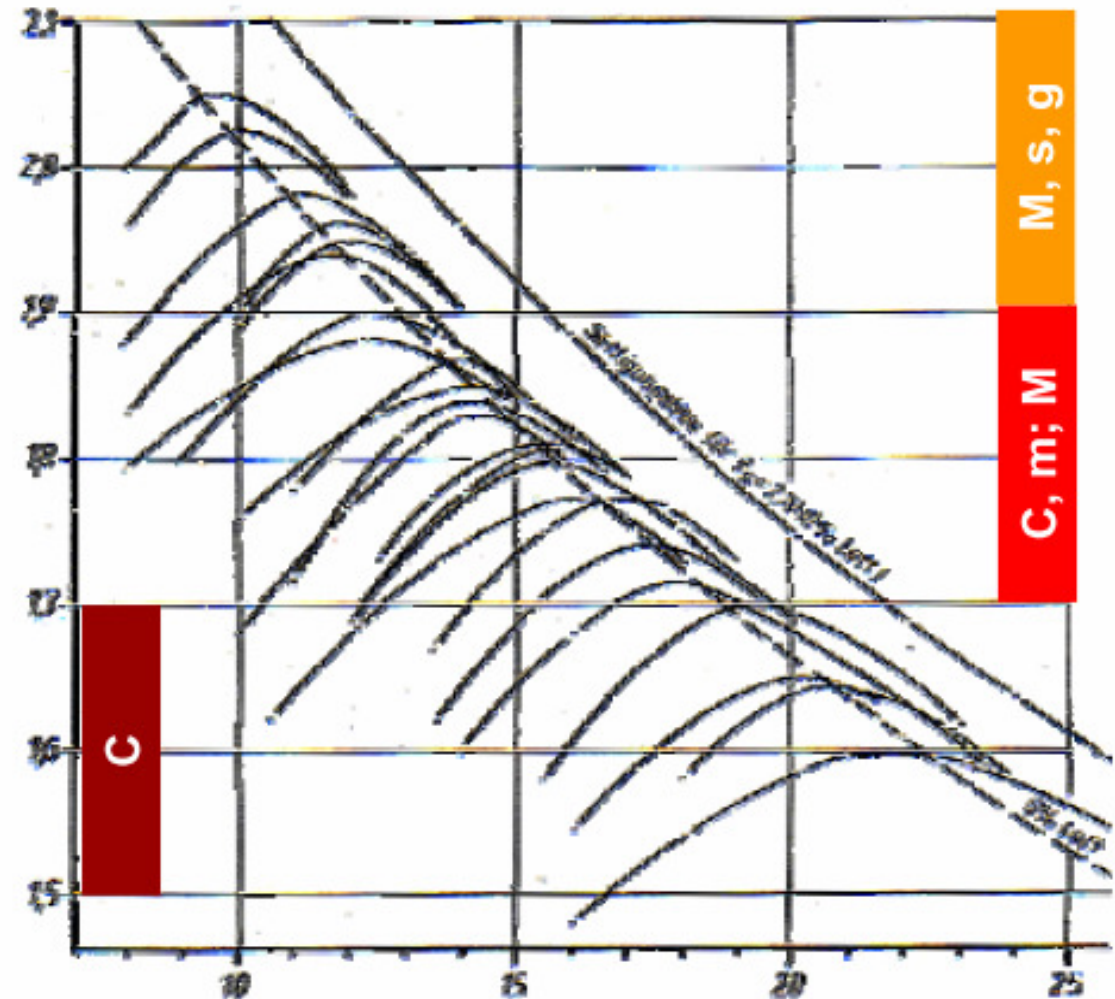
mod $\rho_{Pr} = 1.03 \dots 1.15 \rho_{Pr}$

Proctor Curves of Different Types of Soils



**COARSE GRAINED
MATERIALS**

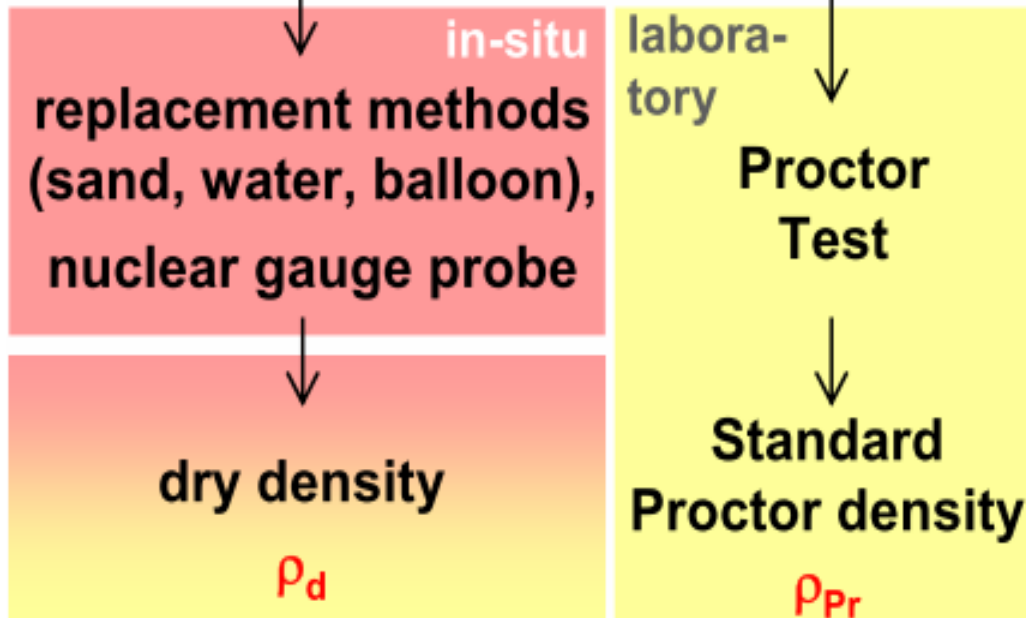
FINE GRAINED MATERIALS



Compaction Control – Spot Testing Methods

DIRECT

DENSITY

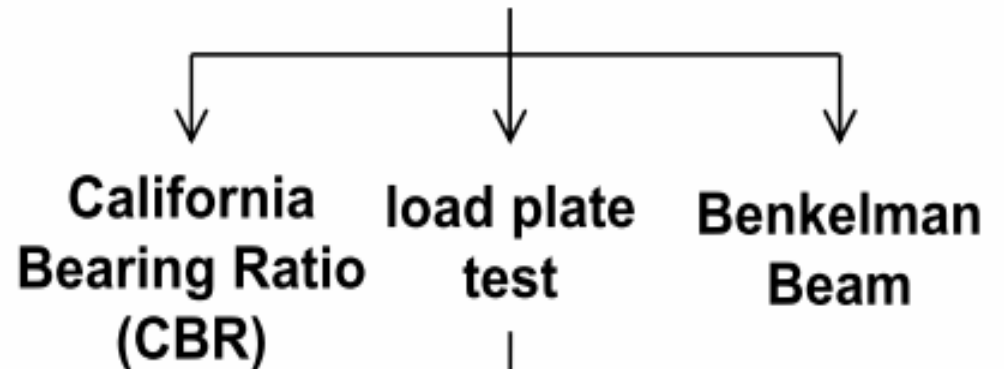


COMPACTION DEGREE

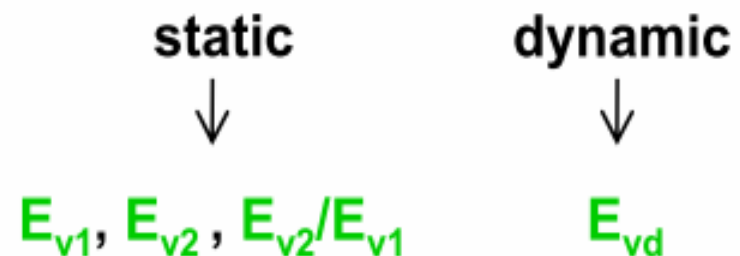
$$D_{Pr} = \frac{\rho_d}{\rho_{Pr}} 100 [\%]$$

INDIRECT

STIFFNESS



DEFORMATION MODULUS

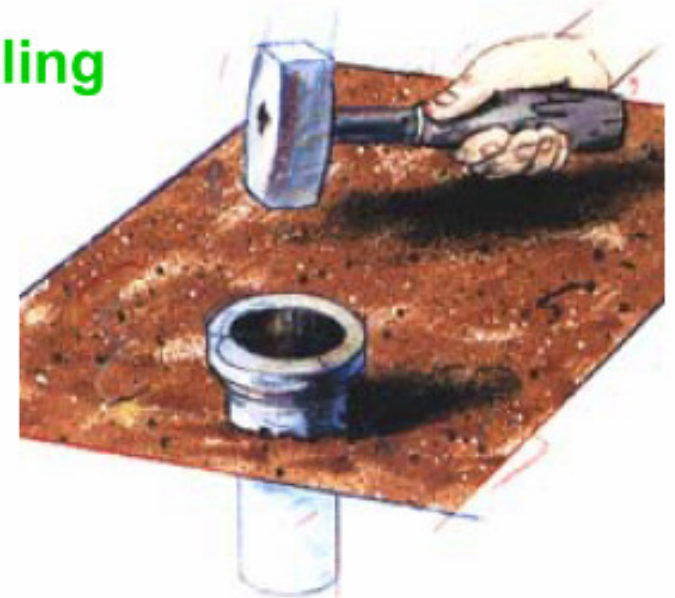


Determination of Density in Field

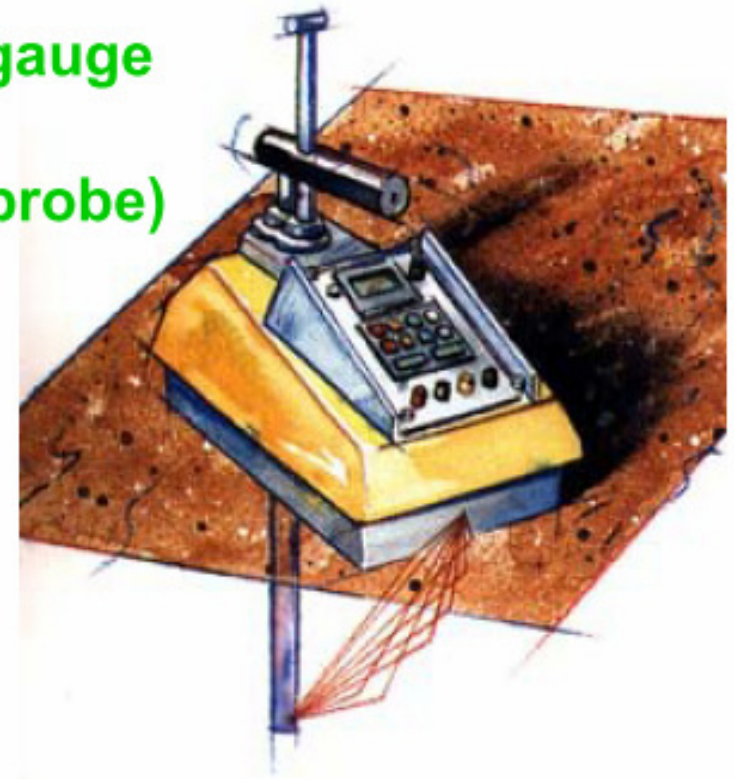
Sand replacement



Tube sampling



Nuclear gauge method (Troxler probe)



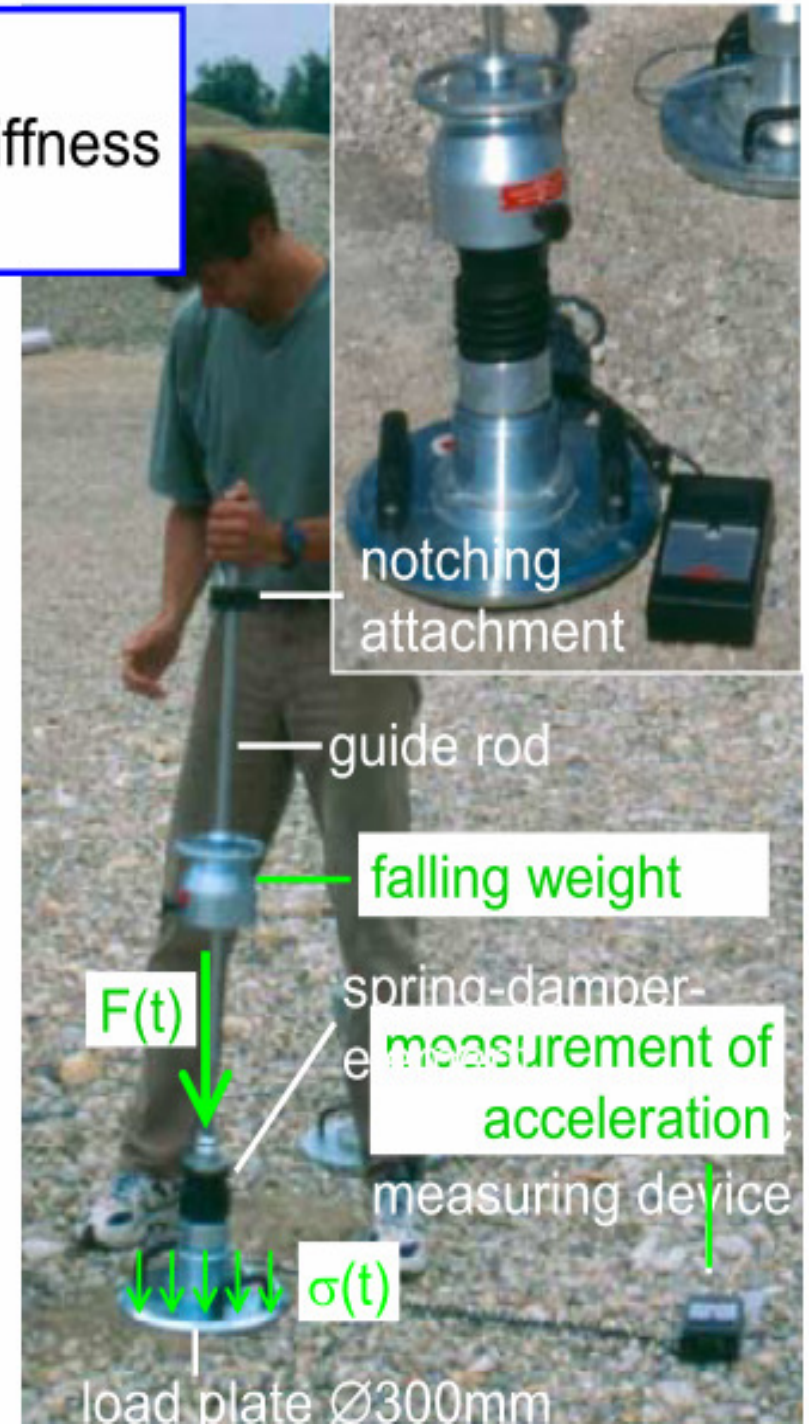
Compaction Control Methods using Load Plate Tests

- determination of **deformation modulus**
- checking of compaction quality and material stiffness
- for earth works and road construction

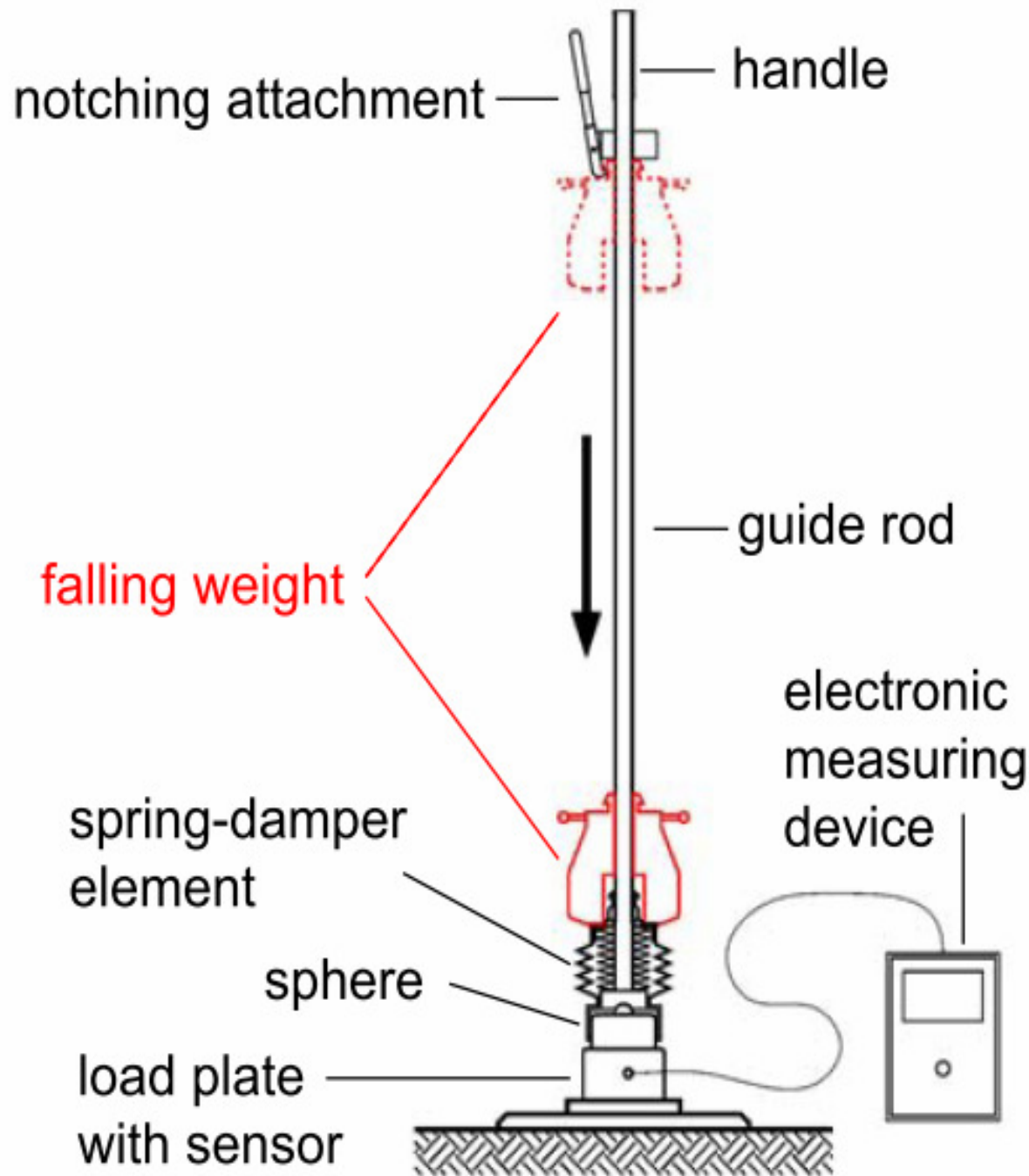


Static load plate test

Dynamic load plate test with the **Light Falling Weight Device**



Dynamic Load Plate – „Light Falling Weight Device“



Selection of Compaction Control Method (RVS 08.03.01 [draft])

1. **Dynamic Load Plate Test (LFWD)** $\Rightarrow E_{vd}$

or

2. **Static Load Plate Test** $\Rightarrow E_{v1}$

or

3. **Compaction degree D_{Pr} :**

determination of Proctor density ρ_{Pr}

+ determination of density in field ρ_d

3.1 sand replacement

3.2 water replacement

3.3 nuclear gauge probe

other control methods:

- Benkelman Beam
- dynamic penetration tests (e.g. DPH)
- levelling

when area of
subgrade level
 $\geq 30,000 \text{ m}^2$

Standards

RVS 08.03.04

ÖNORM B 4417

ÖNORM B 4414-2

DIN 18125-2

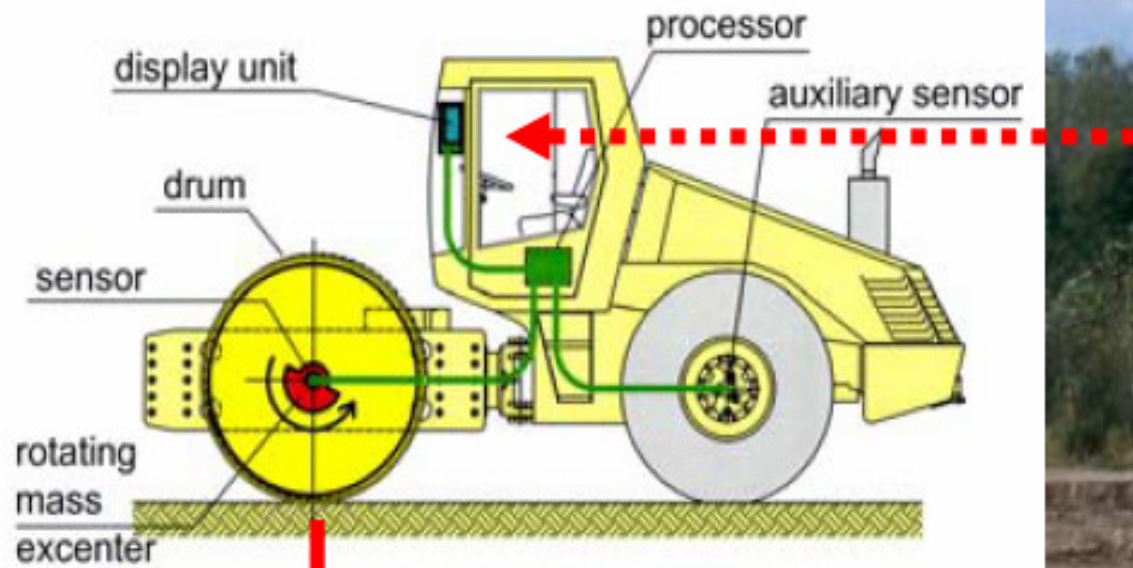
Bulletin FGSV

ÖNORM B 4418

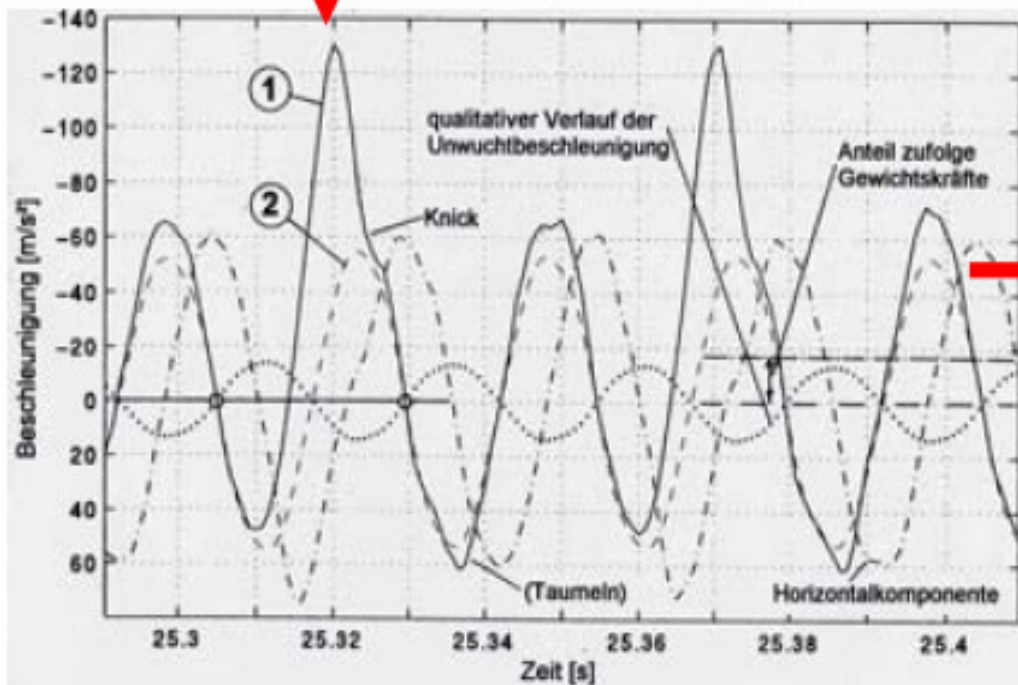
Bulletin FGSV

ÖNORM B 4405 + B 4419

Continuous Compaction Control (CCC)

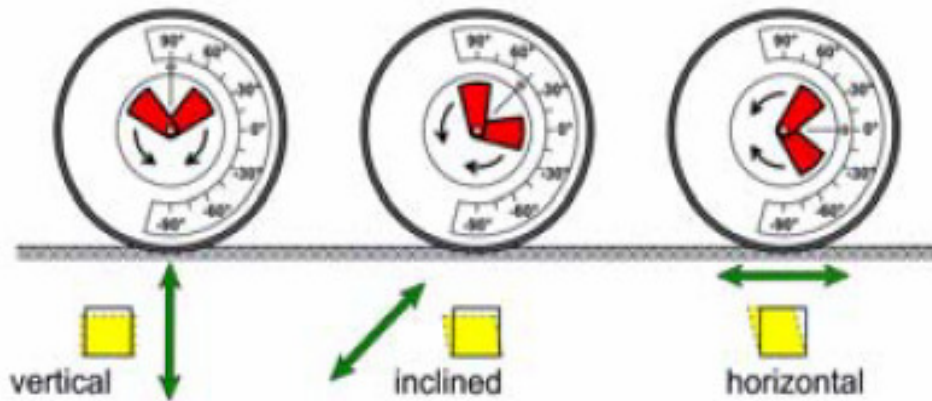
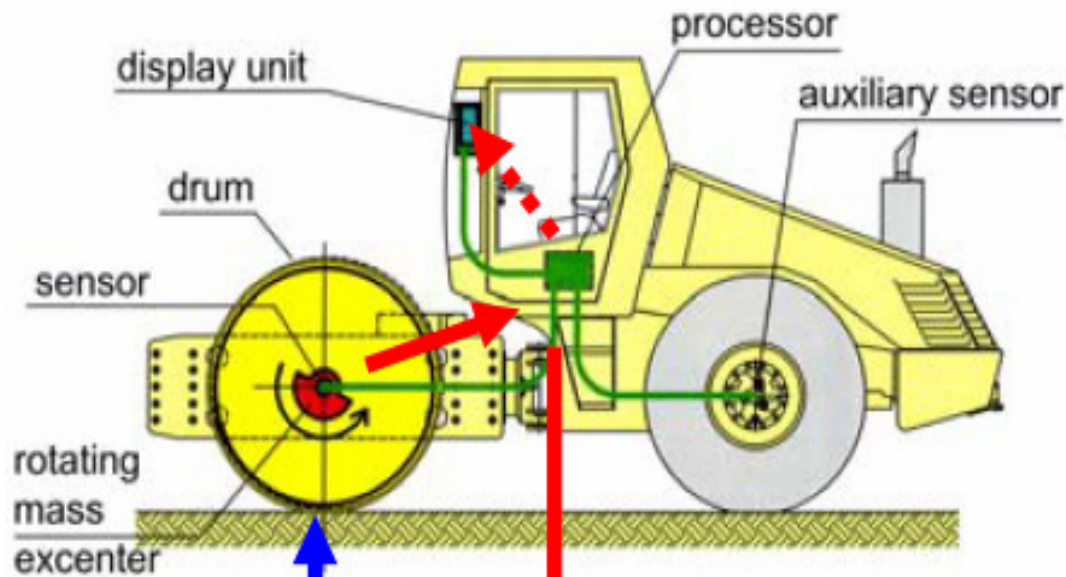


Drum acceleration



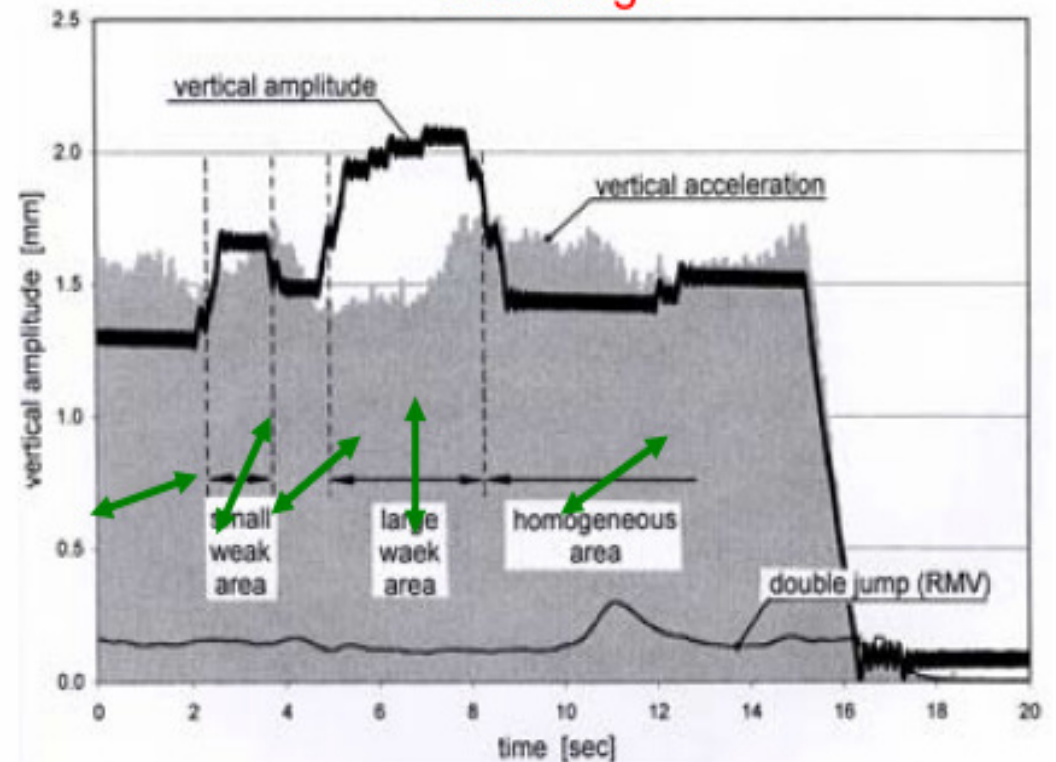
GPS-supported positioning!

Automatically Controlled Compaction

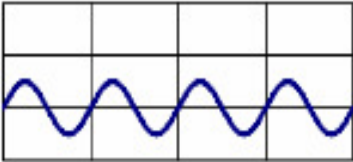
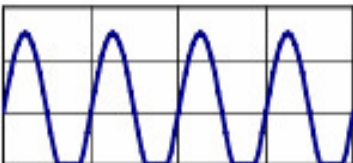
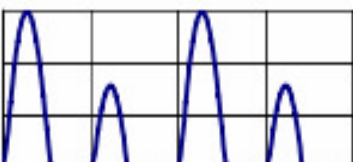
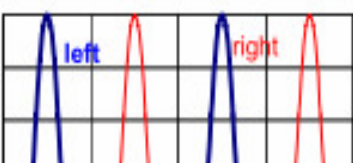
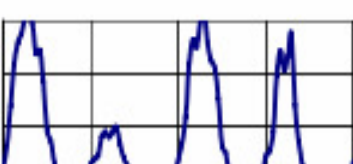


automatic inclination of exciter unit

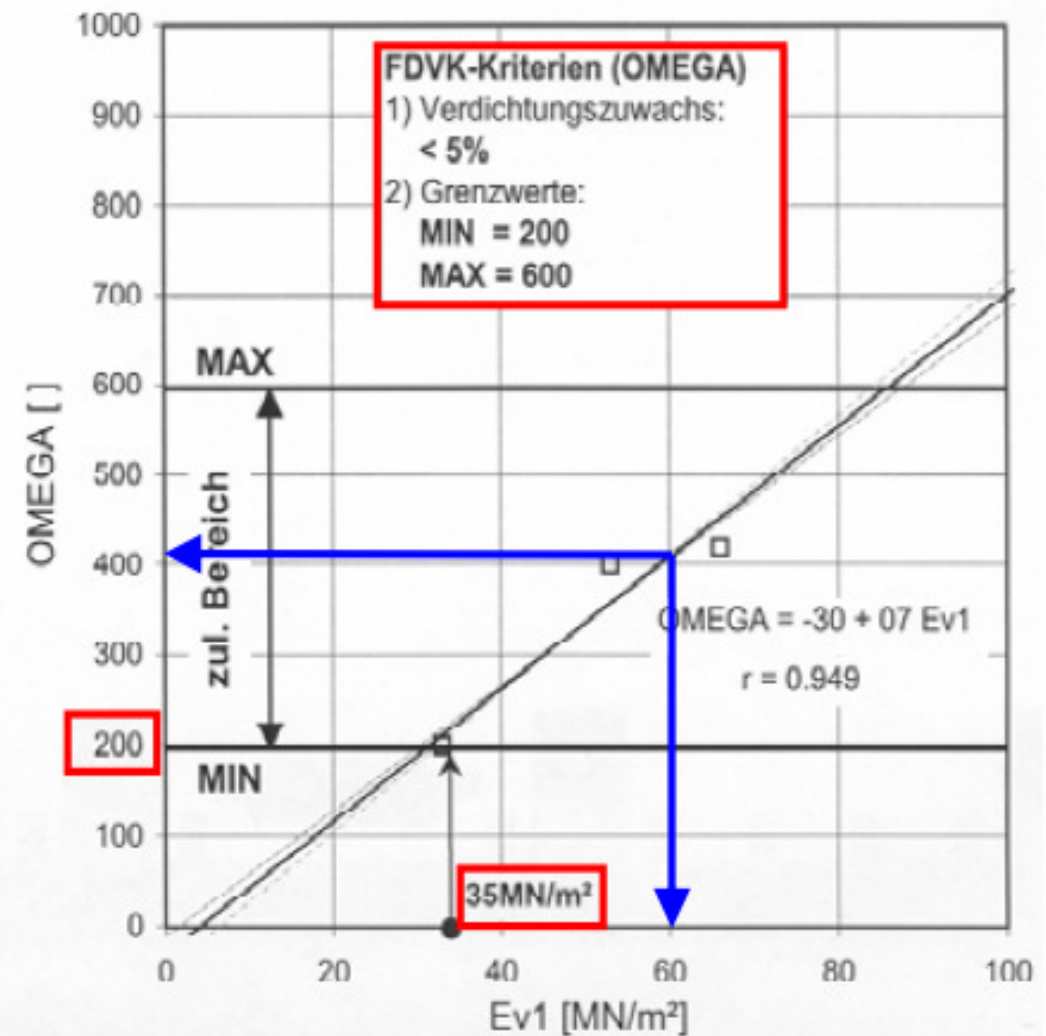
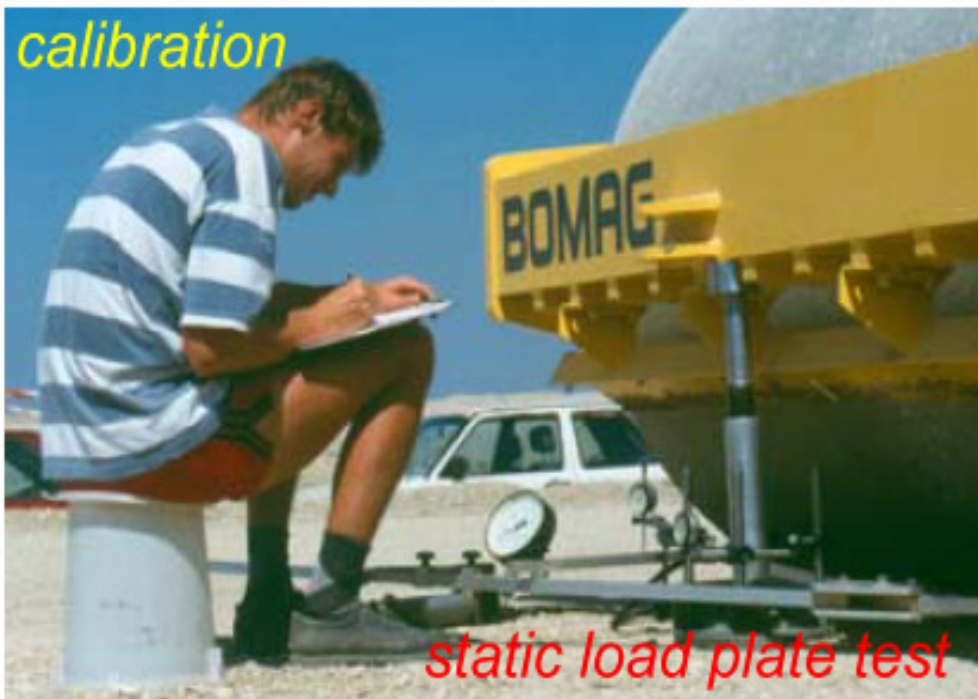
recordings



Operating Modes of Vibratory Roller Drums

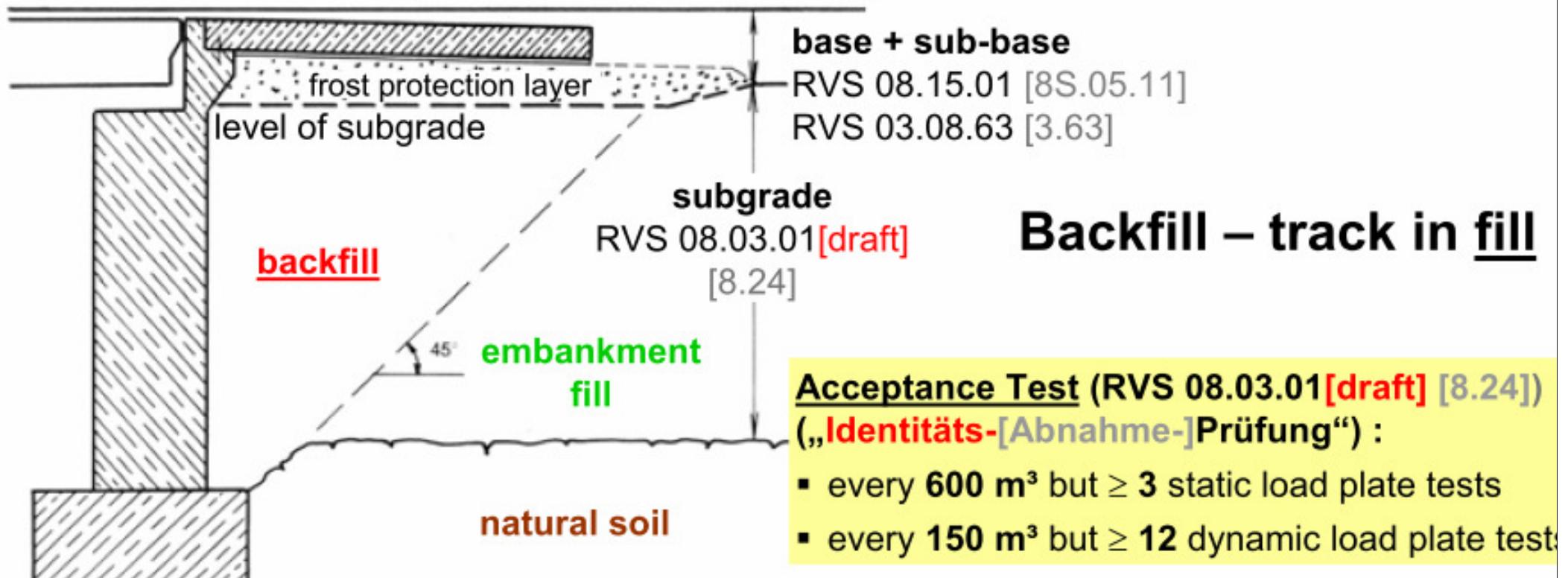
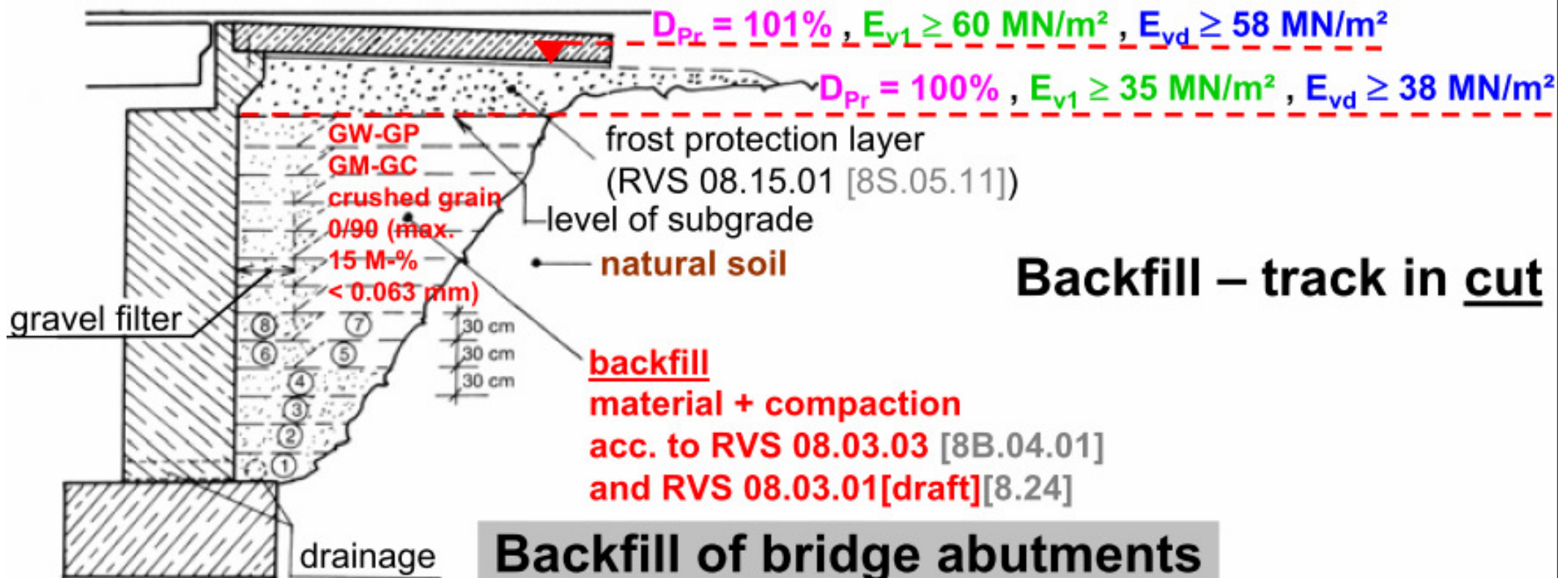
drum motion	Interaction drum-soil	operating condition	soil contact force	application of CCC	soil stiffness	roller speed	drum amplitude
periodic	continuous contact	CONT. CONTACT		yes	low ↓	fast ↑	small ↓
	periodic loss of contact	PARTIAL UPLIFT		yes			
		DOUBLE JUMP		yes			
		ROCKING MOTION		no			
chaotic	non-periodic loss of contact	CHAOTIC MOTION		no	high	slow	large

Continuous Compaction Control (CCC)

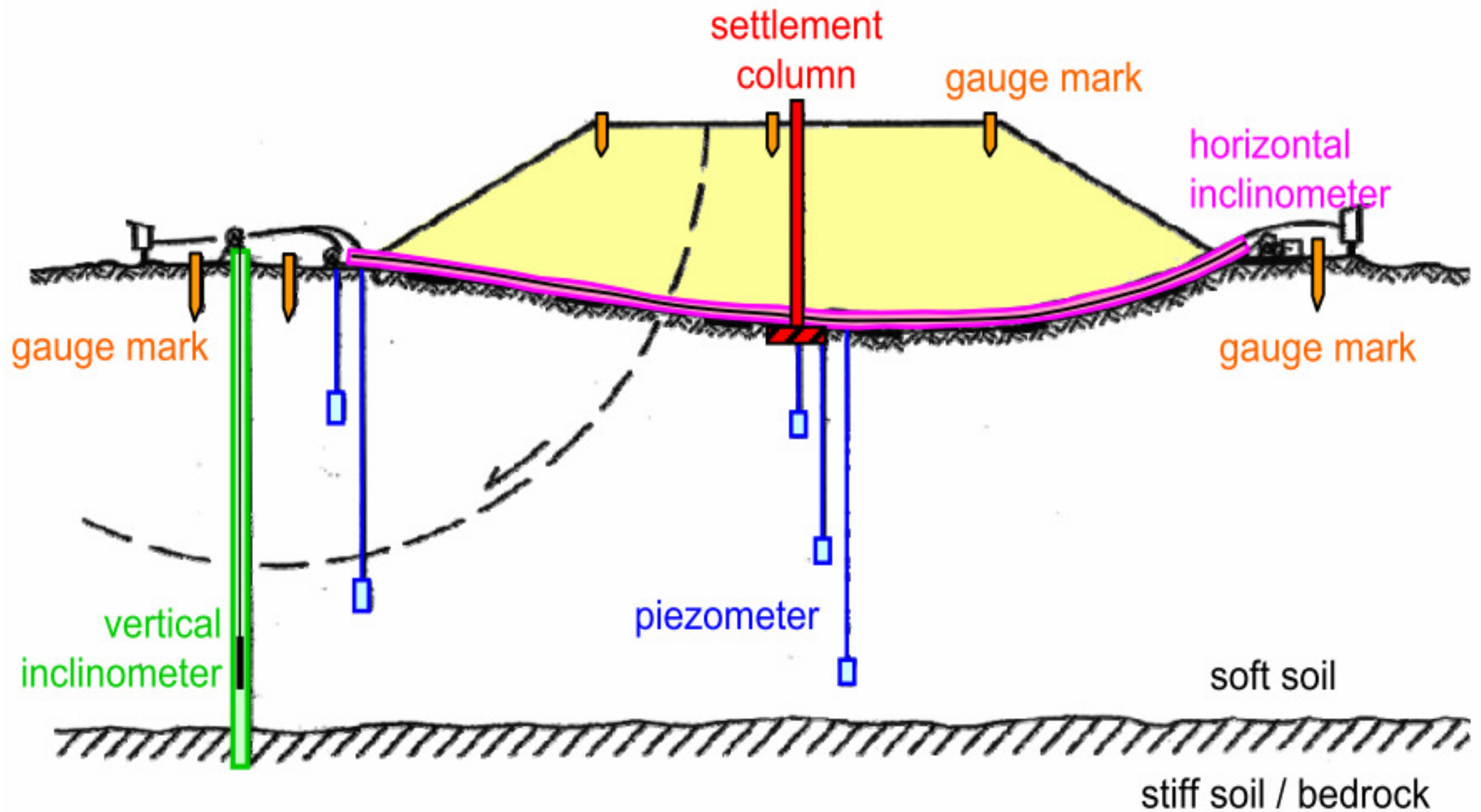


Calibration of CCC-values

Determination of a clear correlation between soil stiffness and CCC-values



Embankment on Soft Soil – Measurement of Deformations



Monitoring of Slope Deformations

- ① extensometer in borehole
- ② inclinometer gauge
 - lateral inclination
 - axial incremental displacement
- ③ deflectometer
- ④ multiple rod extensometer
- ⑤ anchor force measurement

