

Az ejtősúlyos behajlásmérésben rejlő lehetőségek – korszerű pályaszerkezet diagnosztika



Sik Csaba

okleveles építőmérnök,
laboratóriumvezető

H-TPA Innovációs és Minőségvizsgáló Kft.
Pályaszerkezet-vizsgáló Laboratórium

Előadás tartalma

- Nehézejtősúlyos berendezés által mért adatok alkalmazhatósága méretezéshez – szabályozás
- FWD berendezés jellemzői (röviden)
- Behajlás – teherbírás – felületi modulus – pályaszerkezet állapot (kötött – nem kötött rétegek állapota, jellemzése)
- Állapotvizsgálat FWD-vel (pályaszerkezeti hibák feltárása FWD-vel)
- Összefoglalás

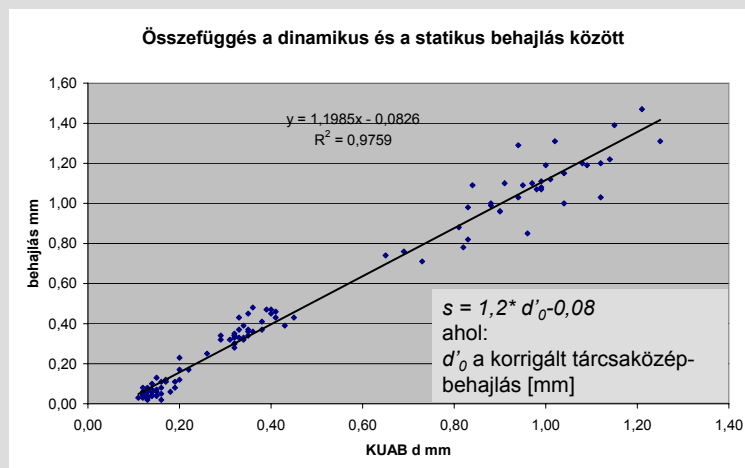
TERVEZTETÉSI ÚTMUTATÓ

Az országos közúthálózat szolgáltatási színvonalának megfeleltetése az EU 96/53/EK számú irányelvének a 2007-2015 közötti időszakban – 2005, UKIG

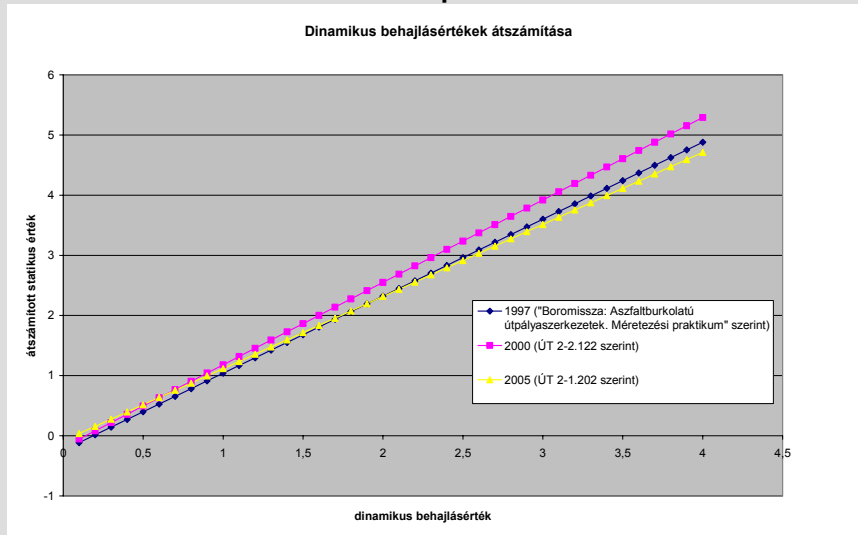
VI.: Technológia meghatározása és kapcsolódó felmérések fejezet:

*„a behajlás-értékek meghatározását (...)
vagy kézi behajlásmérővel,
vagy Lacroix deflektográfával kell elvégezni.” !!!*

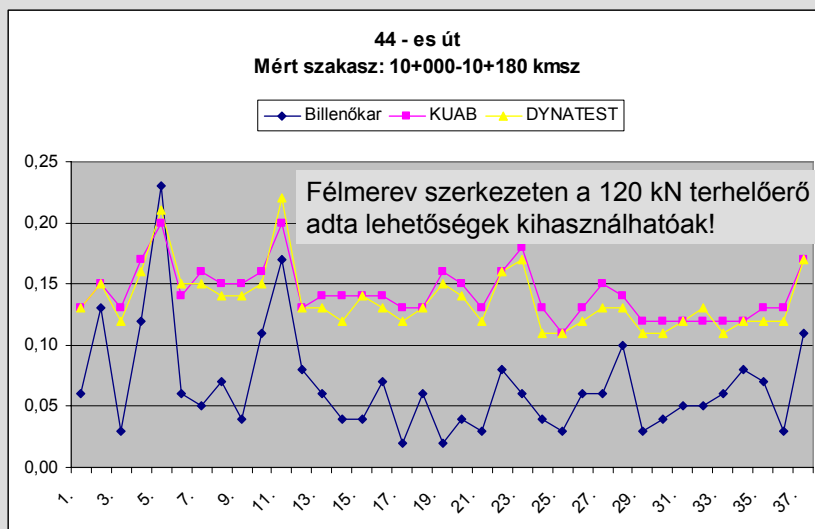
ÚT 2-2.122 Útügyi Műszaki Előírás, illetve az ÚT 2-1.202:2005 Útügyi Műszaki Előírás 1. számú pótlapja



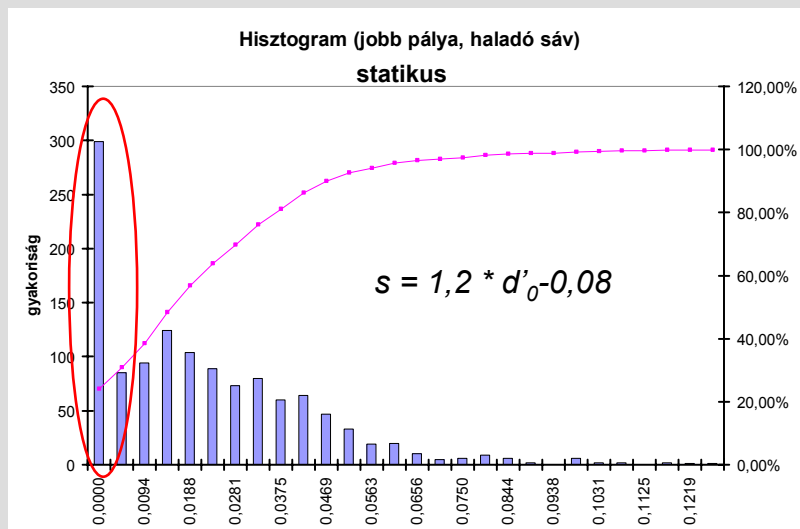
Átszámítás képletek időszora



Dinamikus-statisz eredmények félmerev szerkezeten



Félmerev ap. szerkezet, FWD mérés...



Előadás tartalma

- Nehézejtősúlyos berendezés által mért adatok alkalmazhatósága méretezéshez – szabályozás
- **FWD berendezés jellemzői (röviden)**
- Behajlás – teherbírás – felületi modulus – pályaszerkezet állapot (kötött – nem kötött rétegek állapota, jellemzése)
- Állapotvizsgálat FWD-vel (pályaszerkezeti hibák feltárása FWD-vel)
- Összefoglalás

Ejtősúlyos behajlásmérő berendezés (FWD) jellemzői



2007. 06. 12.

Előadó: Sik Csaba

9

Dynatest FWD jellemzői

Mérőberendezés alapparaméterei

- Terhelési erő: 7-120 kN
- Érzékelők: 9-15 darab – behajlásmérő (geofon)
1 darab – tárcsa alatti erőmérő cella
1 darab – infravörös felületi hőmérsékletmérő
- Terhelési idő: 25-30 ms
- Tárcsa átmérője: 300 mm (szegmenses), 450 mm (merev)
- Eredmény: behajlási (fél)teknő

Kiegészítő berendezések

- infravörös hőmérsékletmérő
- automatikus levegőhőmérséklet mérő
- távolságmérő egység DMI (Distance Measuring Unit)
- mérési pontot megjelölő berendezés
- GPS

2007. 06. 12.

Előadó: Sik Csaba

10

Helyszíni mérőprogram adattartalma

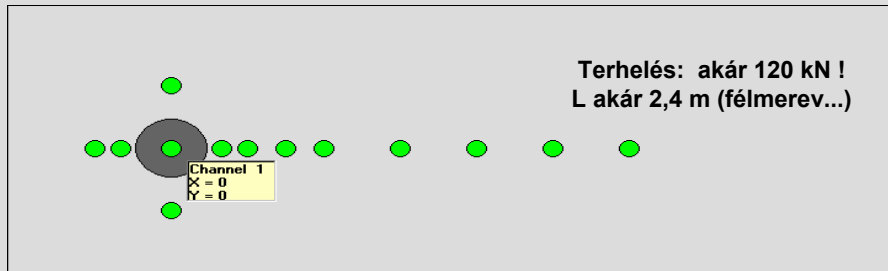
The screenshot displays the Dynatest software interface. At the top, a large value of 1.400 is shown. Below it, there are several input fields and a table of test results. The table has columns for kPa, kN, D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, and a final column with values 0, 0, 0. The table data is as follows:

| | kPa | kN | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 | D6 | D7 | D8 | D9 | |
|---|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|---|
| 1 | 599 | 42.33 | 460.9 | 416.7 | 394.9 | 360.5 | 323.1 | 254.3 | 182.9 | 111.6 | 41.7 | 0 |
| 2 | 851 | 60.15 | 648.6 | 584.3 | 559.0 | 508.1 | 455.3 | 368.8 | 256.8 | 159.7 | 60.0 | 0 |
| 3 | 844 | 59.69 | 655.9 | 587.2 | 549.4 | 509.6 | 451.3 | 354.2 | 268.5 | 159.1 | 59.7 | 0 |

Előadás tartalma

- Nehézejtősúlyos berendezés által mért adatok alkalmazhatósága méretezéshez – szabályozás
- FWD berendezés jellemzői (röviden)
- **Behajlás – teherbírás – felületi modulus – pályaszerkezet állapot (kötött – nem kötött rétegek állapota, jellemzése)**
- Állapotvizsgálat FWD-vel (pályaszerkezeti hibák feltárása FWD-vel)
- Összefoglalás

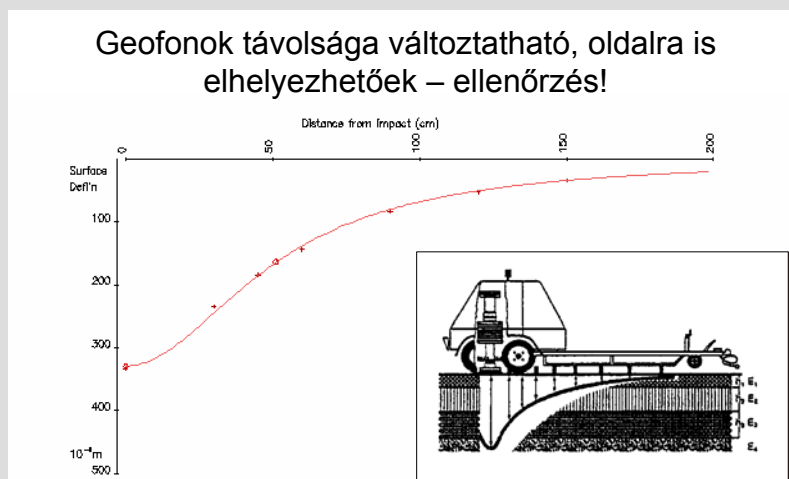
Jellemző szenzorkiosztás – pályaszerkezet függvényében változhat



| D1 | D2 | D3 | D4 | D5 | D6 | D7 | D8 | D9 | D10 | D11 | D12 | D13 |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| X=0 Y=0 tárcsa- közép | X=200 Y=0 | X=300 Y=0 | X=450 Y=0 | X=600 Y=0 | X=900 Y=0 | X=1200 Y=0 | X=1500 Y=0 | X=1800 Y=0 | X=-200 Y=0 | X=-300 Y=0 | X=0 Y=300 | X=0 Y=-300 |

FWD által rögzített behajlási (fél)teknő

Geofonok távolsága változtatható, oldalra is elhelyezhetők – ellenőrzés!

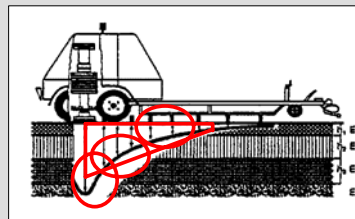


„ a behajlás gyenge helyettesítője a teherbíró-képességnek...”

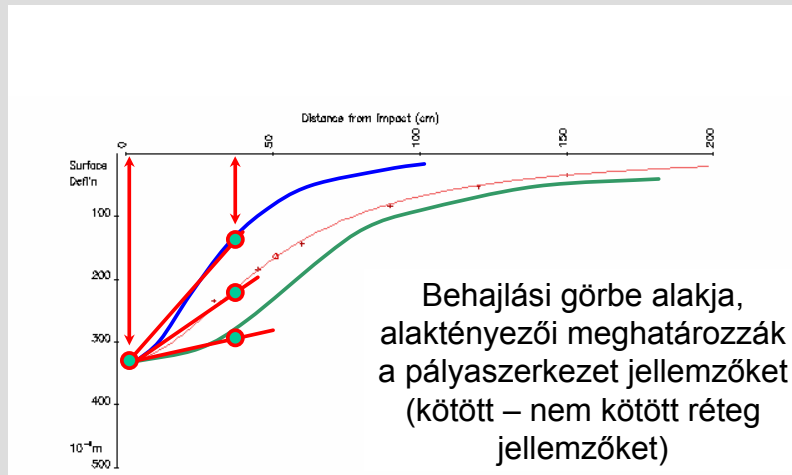
| Szerkezet | Réteg | Behajlás (mm) | Vastagság (mm) | Modulus (MPa) | Aszfalt megnyúlás | Földmű összenyomódás |
|-----------|-------|-----------------|-----------------|---------------|-------------------|----------------------|
| A típus | 1 | 0,42 | 50 | 5 000 | 288 | |
| | 2 | | 300 | 300 | | |
| | 3 | | végtelen féltér | 150 | | 510 |
| B típus | 1 | | 100 | 3 000 | 320 | |
| | 2 | | 300 | 230 | | |
| | 3 | | végtelen féltér | 140 | | 442 |
| C típus | 1 | | 100 | 8 000 | 1248 | |
| | 2 | | 300 | 400 | | |
| | 3 | | végtelen féltér | 85 | | 443 |
| D típus | 1 | | 200 | 1 000 | 290 | |
| | 2 | 300 | 300 | | | |
| | 3 | végtelen féltér | 90 | | 416 | |
| E típus | 1 | 380 | 6 000 | 45 | | |
| | 2 | 300 | 300 | | | |
| | 3 | végtelen féltér | 30 | | 173 | |

FWD mérés, a behajlási teknő paramétere

- D0 tárcsaközép behajlás
- E0 felületi modulus
- $E_{\text{földmű}}$ földmű modulus
- Görbületi index
 - SCI = $d_0 - d_{300}$ (Felületi Görbületi Index, Surface Curvature Index)
 - BDI = $d_{300} - d_{600}$ (Alap Romlási Index, Base Damage Index)
 - BCI = $d_{600} - d_{900}$ (Alap Görbületi Index, Base Curvature Index)
- Területindexek
- Alaktényezők
 - $F1 = (d_0 - d_1) / d_1$
 - $F2 = (d_1 - d_3) / d_2$
- CBF = $(d_0 - d_1) / d_0$



Felületi görbületi index - SCI



Egyenértékű felületi modulus – E0

$$E = \frac{f(1 - \nu^2)\sigma_0 a}{d_0}$$

$$E_{(0)} = \frac{35 \cdot F}{c \cdot d_0}$$

Dr. Adorjányi

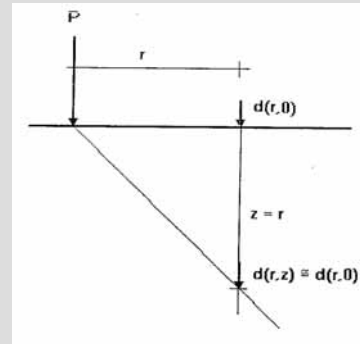
ahol:

- E felületi modulus
- σ felületi nyomás a terhelő tárcsa alatt
- a terhelő tárcsa átmérője (30 cm)
- d_0 legnagyobb (tárcsaközép alatti) behajlás
- ν Poisson tényező
- f korrekciós tényező, értéke az erő eloszlástól függ (egyenletes eloszlás esetén 2)

Felületi modulusok

A felületi modulusok a terhelő lemez tengelyében, „z” mélységben:

$$E = \frac{(1 - \nu^2) \sigma_0 a^2}{r \times d_0(r)}$$



Földmű modulus

Minél jobban távolodunk a terhelés tengelyétől annál mélyebben fekvő rétegek E-modulusáról kapunk információkat!

$$E_{(0)z} = \frac{2,62 \cdot F}{c_e \cdot d_z \cdot z}$$

Dr. Adorjányi

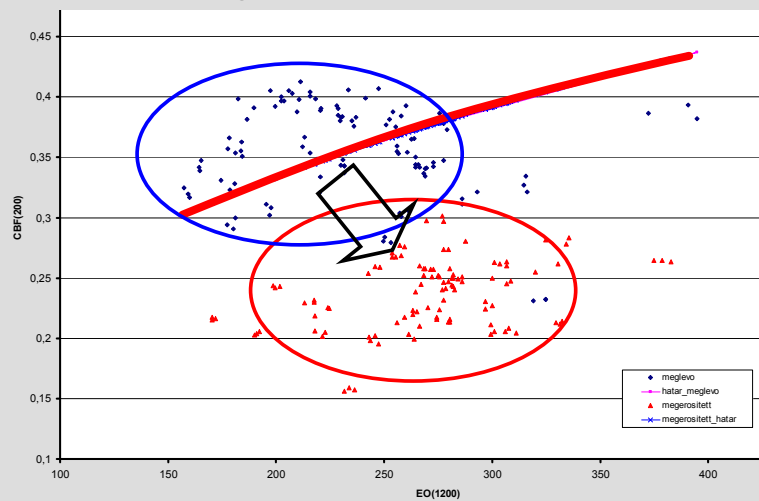
„Hothan – Schaefer” – féle felosztás
kötött – nem kötött (földmű) rétegek megfelelősége

- Felületi modulus

$$EO_r = p \cdot a^2 \cdot (1 - \mu^2) / r \cdot d_r$$
- Curvature Basin Factor

$$CBF_r = (d_0 - d_r) / d_0$$
- $EO_{1200} = 0,707 \cdot 150^2 \cdot (1 - 0,4^2) / 1200 \cdot d_{1200} = 11,13525 / d_{1200}$
- $CBF_{200} = (d_0 - d_{200}) / d_0$
- $EO_{1200, \text{határ}} = 40 - 60 \text{ N/mm}^2$ - változhat
- $CBF_{200, \text{határ}} = 0,04 \cdot EO_{1200}^{0,4}$

M5 autópálya felújítás – példa a kötött – nem kötött
rétegek állapotváltozására



Hátralévő élettartam számítása FWD mérések alapján

A mechanikai méretezés konvenciói szerint a következő mértékadó igénybevételek határozhatóak meg:

- Aszfaltrétegek esetében az aszfaltréteg alsó szálában keletkező megnyúlás
- Hidraulikusan kötött rétegekben a réteg alsó szálában keletkező húzófeszültség
- Szemcsés rétegekben és a földműben a réteg tetején keletkező függőleges összenyomódás

$$\log \varepsilon_a = -1.06755 + 0.56178 \log h_1 + 0.03233 \log d_{1800} + 0.47462 \log SCI_{300} + 1.15612 \log BDI - 0.68266 \log BCI$$

Ahol:

| | |
|-----------------|---|
| ε_a | vízszintes megnyúlás az aszfaltréteg alján ($\mu\text{m}/\text{m}$) |
| h_1 | aszfaltréteg vastagsága (mm) |
| d_x | mért behajlás x mm távolságra a tárcsaközéptől (μm) |
| SCI_{300} | $d_0 - d_{300}$ (μm) |
| BDI | $d_{300} - d_{600}$ (μm) |
| BCI | $d_{600} - d_{900}$ (μm) |

Hátralévő élettartam számítása:

$$\varepsilon_{\text{számított}} / \varepsilon_{\text{megengedett}} = [N/10^6]^m$$

Molenaar, Van Gurp... összefüggés, modellkísérletek alapján

Előadás tartalma

- Nehézejtősúlyos berendezés által mért adatok alkalmazhatósága méretezéshez – szabályozás
- FWD berendezés jellemzői (röviden)
- Behajlás – teherbírás – felületi modulus – pályaszerkezet állapot (kötött – nem kötött rétegek állapota, jellemzése)
- **Állapotvizsgálat FWD-vel (pályaszerkezeti hibák feltárása FWD-vel)**
- Összefoglalás

Esettanulmány

Új építésű autópálya pályaszerkezet
homogenitásának vizsgálata
Műszaki specifikáció előírja - alaprétegen

Homogenitás vizsgálat MSZ 2509-4-1989 – Lacroix mérőkocsival

6.4. A teherbírás homogenitása akkor vizsgálható, ha a behajlásmérési helyek egymástól való távolsága nem több, mint 100 m. Homogén teherbírású az útszakasz, ha a variációs koefficiens (v) megfelel az alábbi összefüggésnek:

$$v = \frac{s}{\bar{s}}$$

Meglévő utak teherbírásának értékelésénél:

$$v_{\max} = 0,5$$

Új utak teherbírásának értékelésénél

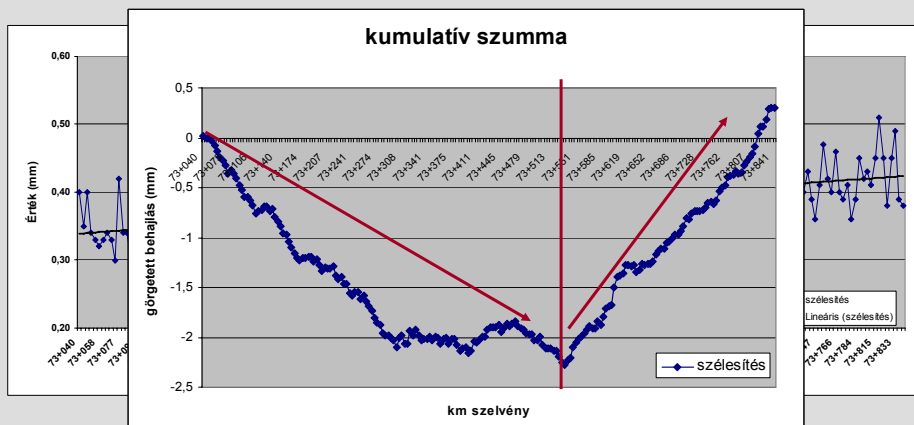
$$v_{\max} = 0,3$$

Ha az s behajlásértékek 0,2 mm-nél nem nagyobbak, akkor az útszakasz teherbírás szempontjából homogénnek tekinthető.

Eszköz alkalmassága...

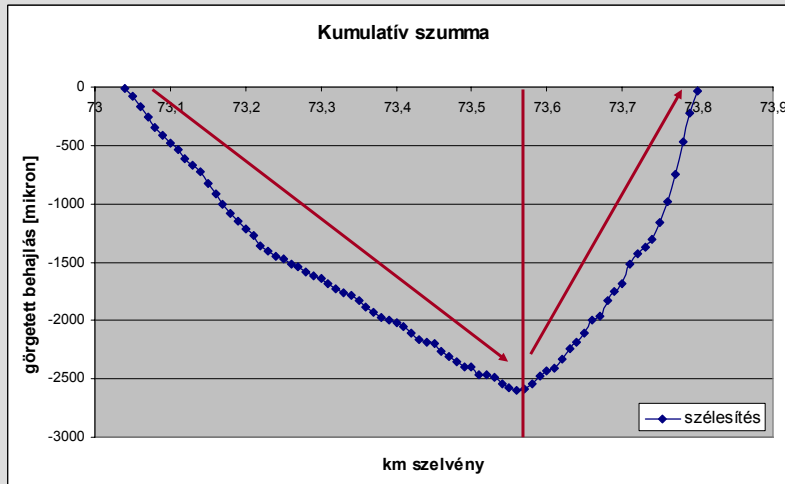
Homogenitás kritérium megfelelése....

Homogenitás vizsgálat új építésű autópálya burkolaton *Lacroix féle kvázistatikus behajlásmérés*

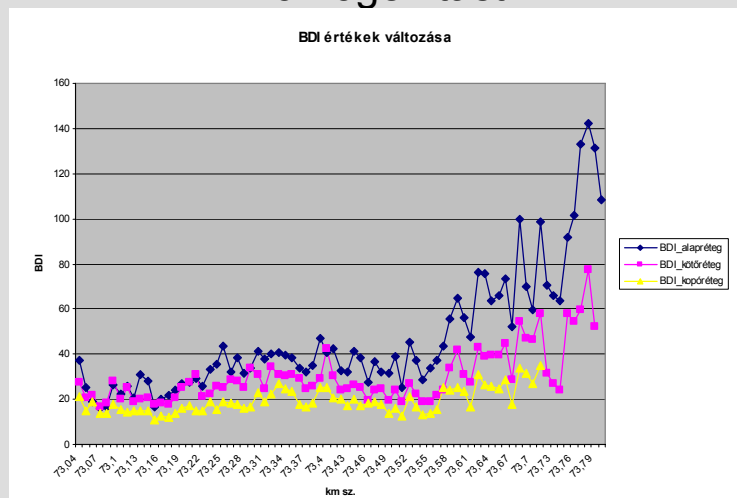


Átlag: 0,38 mm, s:0,048, v: 0,127 látszólag homogén, de...

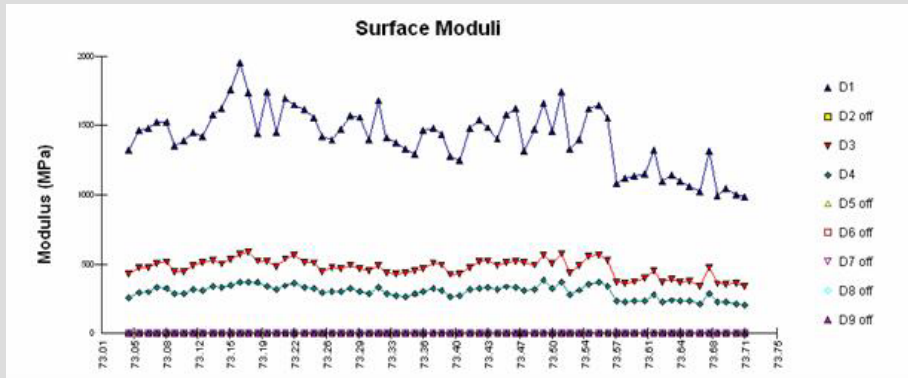
Homogenitás vizsgálat új építésű autópálya burkolaton *Dynatest FWD-vel végzett dinamikus behajlásmérés*



Teknőparaméterek vizsgálata, mi okozza az inhomogenitást?

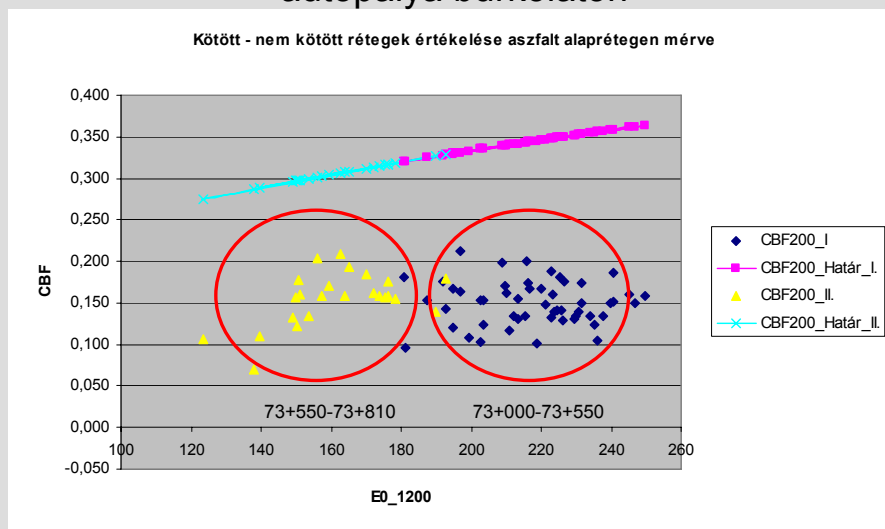


Felületi modulusok értékelése



E0 felületi modulus (d0), d300-as és d450-es modulus

„Hothan – Schaefer” – féle felosztás új építésű autópálya burkolaton



Összefoglalás

- Statikus módszerekkel szemben a dinamikus teherbírásmérés során sokkal több információ áll rendelkezésünkre - teknőparaméterek
- Pályaszerkezet diagnosztika – állapotváltozás nyomkövetése (földmű és pályaszerkezeti rétegek is)
- Felületi modulus alapja lehet egy méretezési rendszernek (nem behajlás alapú, anyagtulajdonságok a fáradási összefüggések alapján figyelembe vehetők, alternatív szerkezetek összehasonlíthatóak...)
- Jól megválasztott teknőparatméter új építésű szerkezetek minősítő paramétere lehetne
- FWD mérés gyors, ismételhető, összehasonlítható, megbízható, költséghatékony

Köszönöm a figyelmet!

E-mail: csaba.sik@tpaqi.com

Web: www.htpa.hu

Tel.: 00 36 30 677 0220