

**Széchenyi István Egyetem**

**Építész-, Építő- és Közlekedésmérnöki Kar**  
**Közlekedésépítési Tanszék**

---

**Aszfaltkeverék-tervezés támogatása a bitumenek  
dinamikus nyíróreométeres (DSR) vizsgálatával,  
avagy elég-e a penetráció és lágyuláspont  
ismerete a maradó alakváltozás  
előrebecsléséhez?**

# Előadás tartalma

---

## Téma aktualitása

- Klímaváltozás hatása az útéépítésben
- Hazai útburkolatok állapota (nyomvályúk)
- Bitumenek fokozat-besorolásához alkalmazott jellemzői
- Bitumen teljesítményalapú jellemzői és az aszfaltkeverékek maradó alakváltozással szembeni ellenállása közötti kapcsolat

## Kutatási célok

## Kutatási módszerek

## Kutatási eredmények

## További kutatási célok és javaslatok

# Téma aktualitása

## „Szemléltető eszköz”

Konkrétumok fa: ligettett bitumenel, bitumenel

Itt az idő, ami alatt 50ml folyadék adott körülmények között a konkrétumot milyen befolyásolja



$VR_t$  - viszkozitás relatív  
Asphalt =  $\frac{\text{Verarbeitung}}{\text{Verfestigung}} = \frac{\text{Wärme}}{\text{Kälte}}$

Ford viszkozitás: alapvetően győztesen

$$\tau_{\text{red. Asp.}} = \tau(\text{viszkozitás}) \cdot \text{elmozdítás}$$

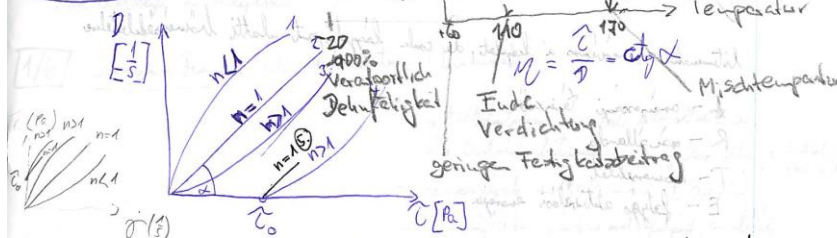
abszolút viszkozitás

- 1.)  $\eta = \frac{\tau}{D}$  (Newtoni folyadék)
- 2.)  $\eta = f\left(\frac{\tau}{D}\right)$  Reiner - Rivlin modell
- 3.)  $\eta = f\left(\frac{\tau}{D}, t\right)$  Rivlin - Ericksen modell
- 4.)  $\eta = f\left(\frac{\tau}{D}, G, t\right)$  nem Newtoni folyadékok

+ Viskozitás BM  
+ 60°C Hisszadstoffe 70-80% BM 20-30%  
- 20°C Hisszadstoffe völlig lufttaessend 0% BM 100%

Bilona = Schmelz + Gleitmittel

Folyásgörbék



- 1.) dilatációs folyadék (degeneratív n > 1)
- 2.) Newtoni folyadék
- 3.) pseudoplastikus
- 4.) plasztikus
- 5.) Binghami osztályos anyag  $\eta = \frac{\tau - \tau_0}{\gamma}$  (n = 1)

# Téma aktualitása

„Szemléltető eszköz”

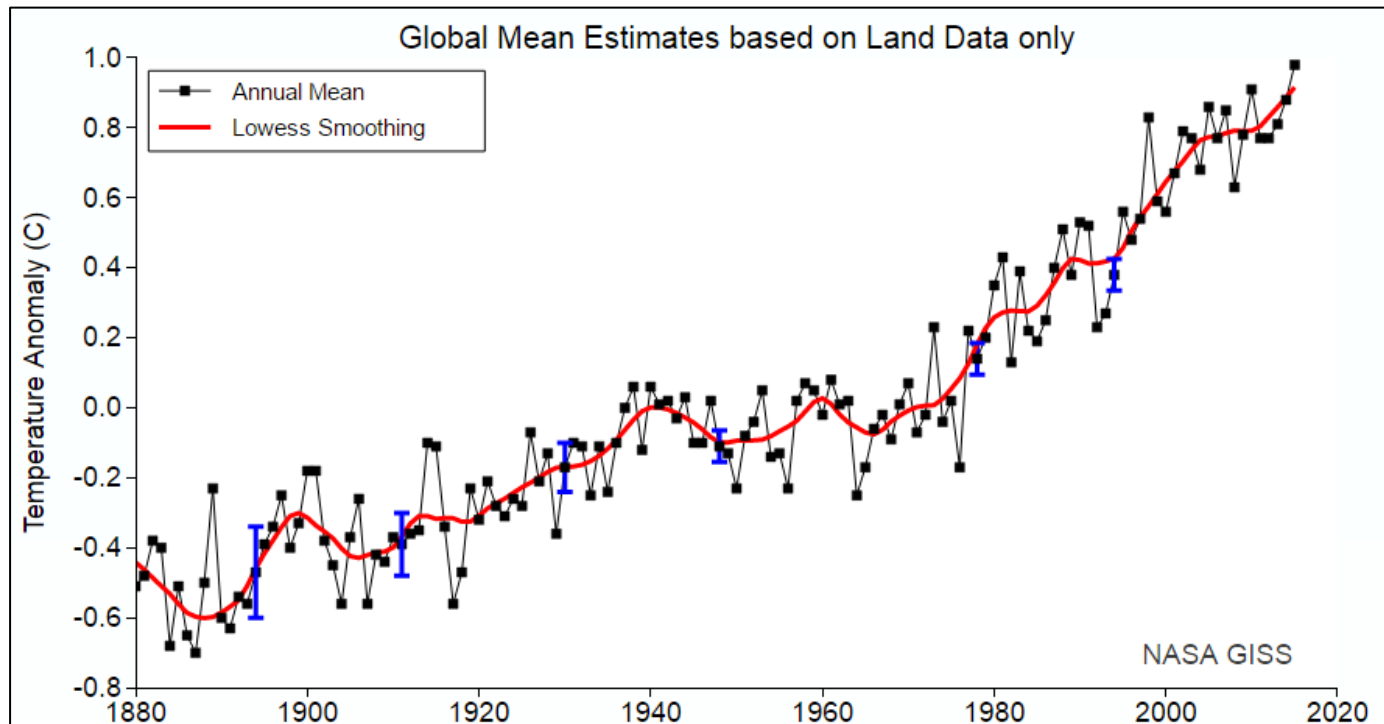
$VR_t$  - viszkozitás relatív  
Asphalt = Kompromissz  
Verarbeitung  
Festigkeit Wärme  
Dehnfähigkeit Kälte  
Fed. Asph. = F (100% Reibung Mineralgest

+60°C +Viskosität BM  
Mineralstoffe 70-80% BM 20-20%

-20°C Mineralstoffe völlig winteressant  
0% BM 100%

# Téma aktualitása

## Klímváltozás hatásai a „20-30%”-ra

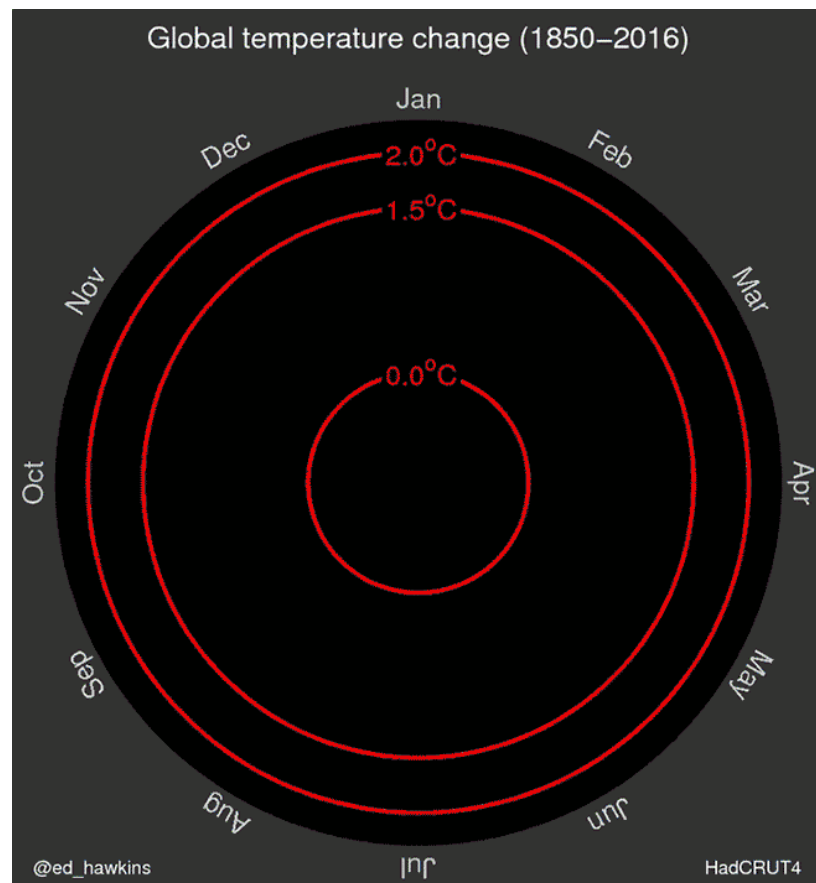


forrás: NASA



# Téma aktualitása

## Klímváltozás hatásai a „20-30%”-ra

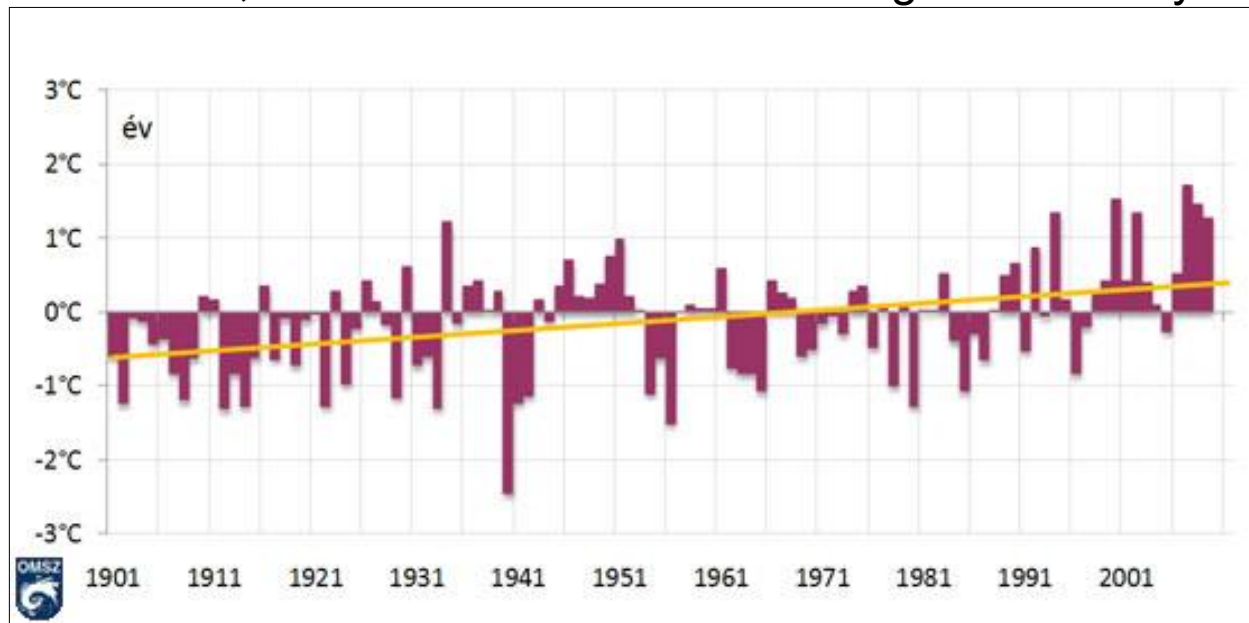


forrás: Ed Hawkins

# Téma aktualitása

## Klíma változás hatásai a „20-30%”-ra

Magyarország évi középhőmérsékletének alakulása 1901 és 2009 között, az 1971-2000-as időszak átlagához viszonyítva

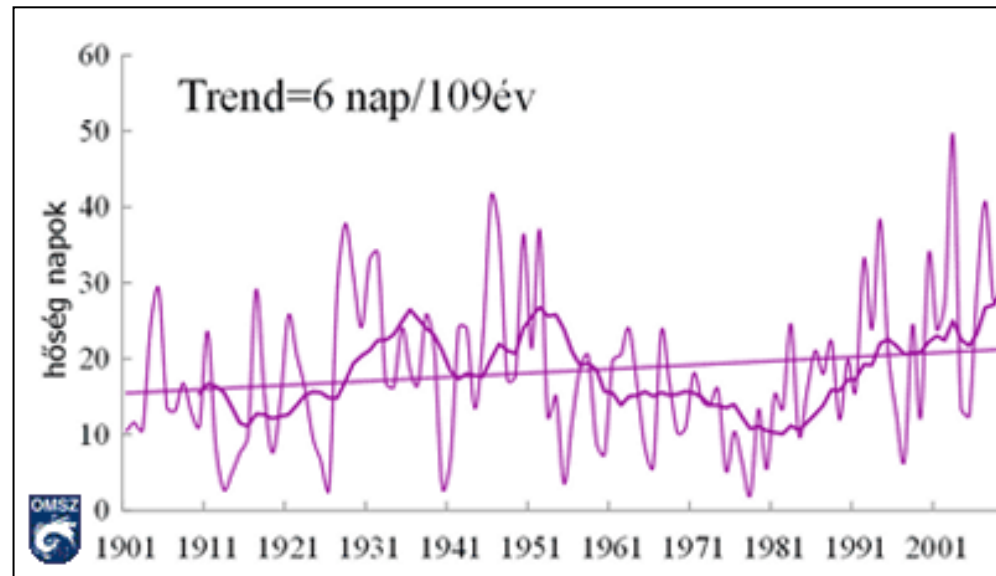


forrás: OMSZ

# Téma aktualitása

## Klímváltozás hatásai a „20-30%”-ra

A hőségnapok éves számának idősora, a tízéves mozgó átlaggal, 1901 és 2009 között



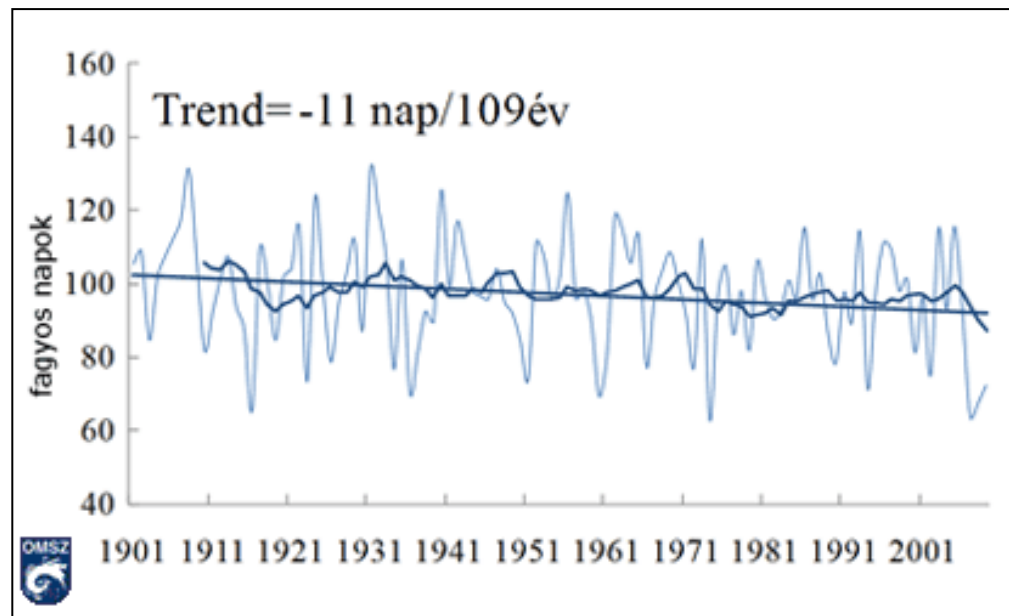
forrás: OMSZ



# Téma aktualitása

## Klímváltozás hatásai a „20-30%”-ra

A fagyos napok éves számának idősora, a tízéves mozgó átlaggal, 1901 és 2009 között



forrás: OMSZ

# Téma aktualitása

## Forma-1 Magyar Nagydíj 216



Szombati időmérő edzés

forrás:www.f1-vilag.hu

# Téma aktualitása

## Forma-1 Magyar Nagydíj 2016

Léghőmérséklet:  
+28°C

Burkolathőmérséklet:  
+51°C

forrás: [www.formula.hu](http://www.formula.hu)

AC 11 kopó (F)  
B50/70

Lágyuláspont:  
46 - 54°C



Vasárnapi futam

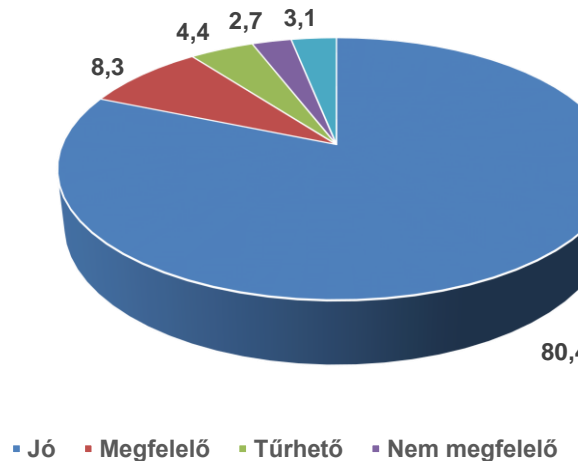
forrás: [www.f1-vilag.hu](http://www.f1-vilag.hu)

# Téma aktualitása

## Hazai útburkolatok állapota

Országos közutak keréknyomvályú-mélység osztályzat szerinti megoszlása 2015-ben (%)

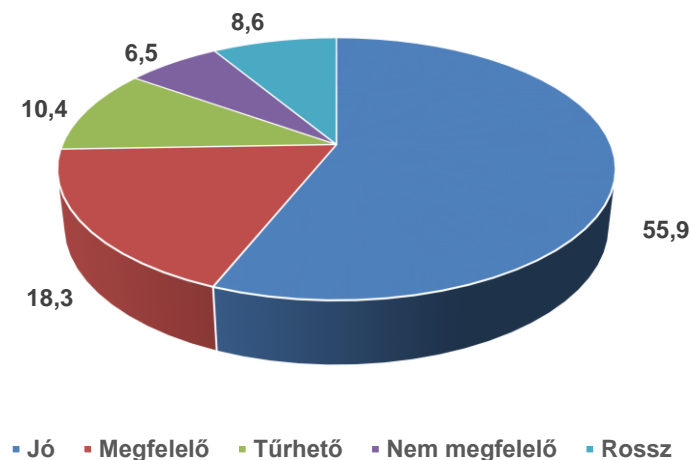
Teljes kiépített hálózat



forrás: Magyar Közút NZrt.

88,7% → 74,2%

Főhálózat



forrás: Magyar Közút NZrt.

# Téma aktualitása

---

## Szabványos bitumenvizsgálatok

Útépítési célú bitumenek alkalmazásának mérföldkövei:

Útépítési bitumenek – 1834 Európa, 1872 USA

Modifikált bitumenek – 1970-es évek

Multigrade típusú bitumenek – 1995 környéke

**Gyakorlatban a mai napig használatos fokozat-  
besoroláshoz alkalmazott jellemzők:**

Tűpenetráció – 1888

Gyűrűs-golyós lágyuláspont – 1900-as évek eleje



# Téma aktualitása

---

## Szabványos bitumenvizsgálatok

### *Bitumen:*

#### **Európa**

Penetráció és gyűrűs-golyós lágyuláspont  
tapasztalati (empirikus) jellemzők

#### **USA**

SHRP-bitumenazonosítás - Komplex nyírási modulus  
teljesítményalapú (fundamentális) jellemzők

### *Aszfalt:*

Európa: tapasztalati és teljesítményi (választhatóan)

USA: SHRP-Superpave - teljesítményi

# Téma aktualitása

---

**Bitumen teljesítményalapú jellemzői és az aszfaltkeverékek maradó alakváltozással szembeni ellenállása közötti kapcsolat**

Reológiai vizsgálatok általában valamilyen adalékszer vagy modifikálószer hatásának vizsgálatára

Hiányzik a kapcsolat a bitumének teljesítményalapú jellemzői és az aszfaltok alakváltozási paramétereik között

# Kutatási célok

---

- Konvencionális és teljesítményalapú bitumenjellemzők között összefüggések keresése
- Bitumenek reológiai alapú jellemzői és az aszfaltkeverékek empirikus valamint fundamentális alakváltozási jellemzői között összefüggések keresése
- Teljesítményi bitumenjellemző azonosítása a keveréktervezés támogatására, és a beépítendő aszfaltkeverék teljesítménye kedvezőbb, illetve pontosabban előrebecsülhető lehet
- Előrelépés a bitumenjellemzők és aszfaltjellemzők teljesítményi kapcsolata felé

# Kutatási módszerek

---

Laboratóriumi vizsgálatok a **bitumenek (összesen 37 minta)**

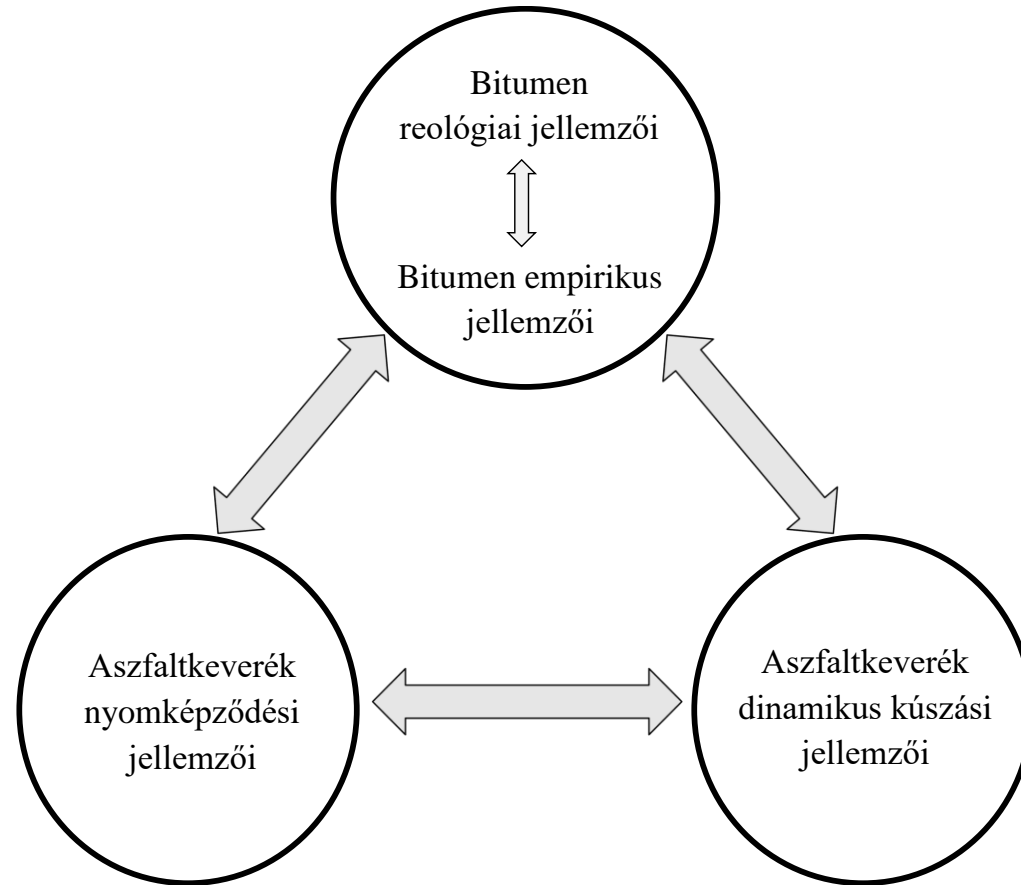
- empirikus (Pen, LP, PI),
- alapvető reológiai tulajdonságainak (DSR) meghatározásához.

**Aszfaltbeton** keverékek jellemzőinek kutatása

- Keréknyom-képződési vizsgálatok (WTT) kiskerekes berendezéssel,
- ismételt terhelésű összenyomódási vizsgálat (TCCT) univerzális hidraulikus aszfaltvizsgáló berendezéssel.

Vizsgált keverék szemeloszlása **AC 16 kopó** keveréknek felelt meg.

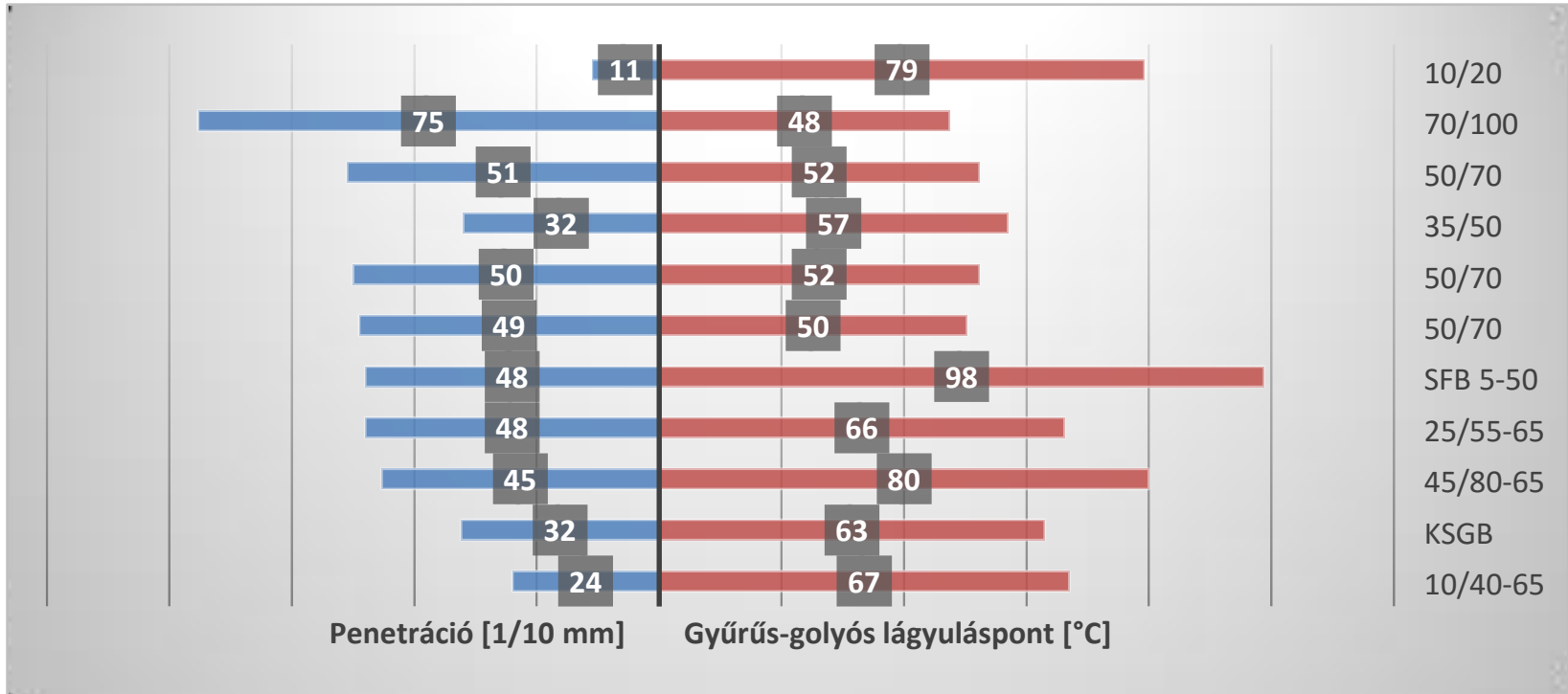
# Kutatási módszerek





# Kutatási módszerek

AC 16 kopó aszfaltkeverékhez alkalmazott bitumentípusok illetve azok penetrációja és gyűrűs-golyós lágyuláspontja



# Kutatási módszerek

## A kutatás során vizsgált 40 bitumenjellemző

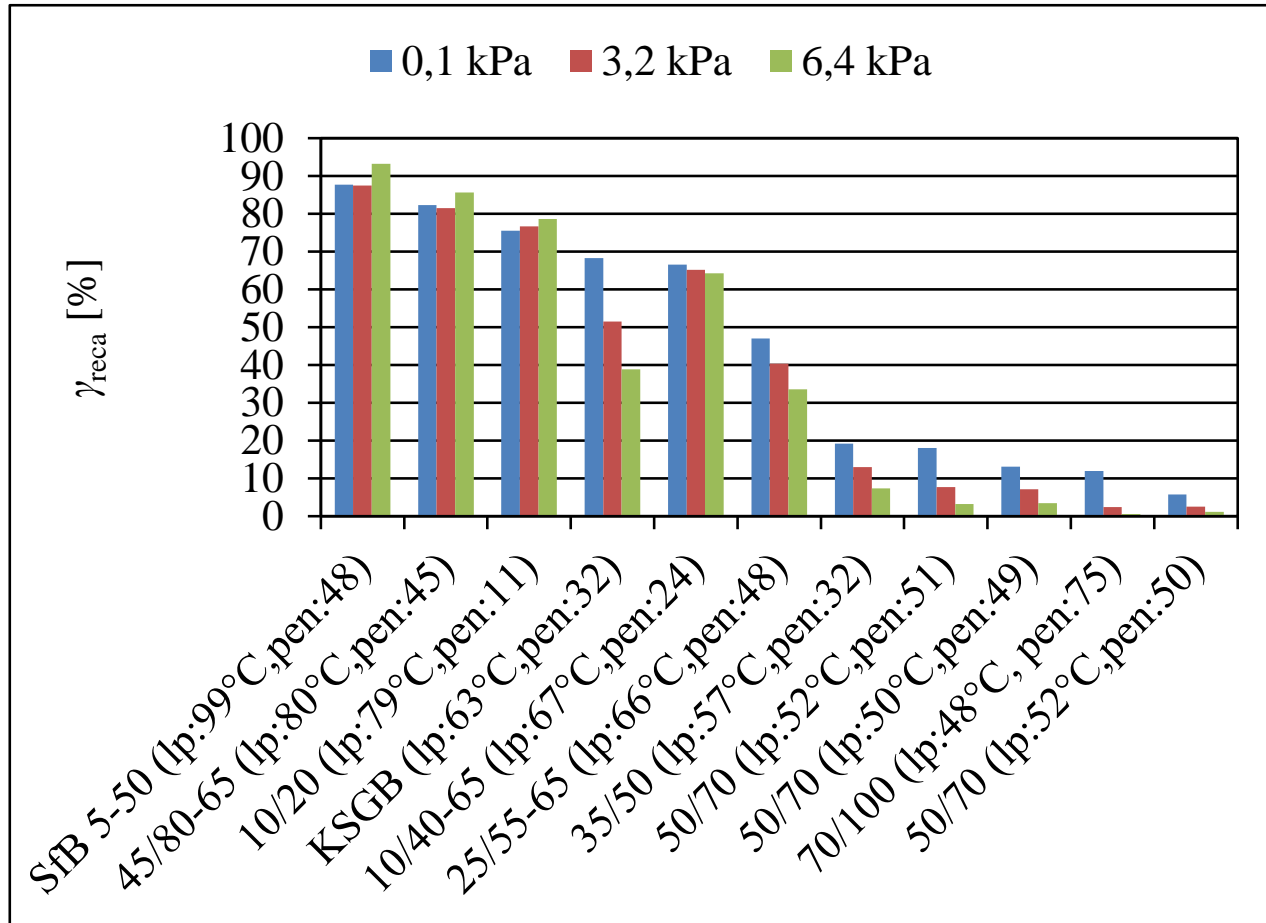
- Penetráció
- Gyűrűs-golyós lágyuláspont
- LVE-tartományok
- Komplex nyírási modulus
- Komplex viszkozitás
- MSCR-jellemzők
- Burgers-modell elemei
- Zéró nyírási viszkozitás
- Feszültségérzékenység
- Feszültség-viszkozitási tényező

Bitumenjellemzők		Bitumenjellemzők	
Jellemző típusa	Paraméter	Jellemző típusa	Paraméter
Empirikus	Penetráció 25°C-on	Fundamentális ( $T=+60^{\circ}\text{C}$ )	$J_{nra}(6,4)$
	Gyűrűs-golyós lágyuláspont		$\Delta J_{nra}(0,1-3,2)$
	Penetrációs index		$\Delta J_{nra}(3,2-6,4)$
Fundamentális ( $T=+60^{\circ}\text{C}$ )	$G^*_{10}$		$\Delta J_{nra}(0,1-6,4)$
	$J^*_{10}$		$\gamma_{reca}(0,1)$
	$G^*_{10}/\sin\delta$		$\gamma_{reca}(3,2)$
	$\eta^*_{10}$		$\gamma_{reca}(6,4)$
	$G^*_{0,883}$		$\gamma_{una}(0,1)$
	$J^*_{0,883}$		$\gamma_{una}(3,2)$
	$\eta^*_{0,883}$		$\gamma_{una}(6,4)$
	$G^*_3$		$\Delta\gamma_{reca}(0,1-3,2)$
	$J^*_3$		$\Delta\gamma_{reca}(3,2-6,4)$
	$\eta^*_3$		$\Delta\gamma_{reca}(0,1-6,4)$
	$\gamma_{LVE5\%}$		$SVF$
	$\gamma_{LVE10\%}$	$SSV$	
	$ZSV_{creep}$	Fundamentális ( $T=+20^{\circ}\text{C}$ )	$G^*_{10}$
	$ZSV_{cr-rec}$		$G^*_{10}/\sin\delta$
	$\eta_{3MSCR}(3,2)$		$\eta^*_{10}$
	$J_{nra}(0,1)$		$\gamma_{LVE5\%}$
	$J_{nra}(3,2)$		$\gamma_{LVE10\%}$

# Kutatási módszerek

## Néhány jellemző alakulása

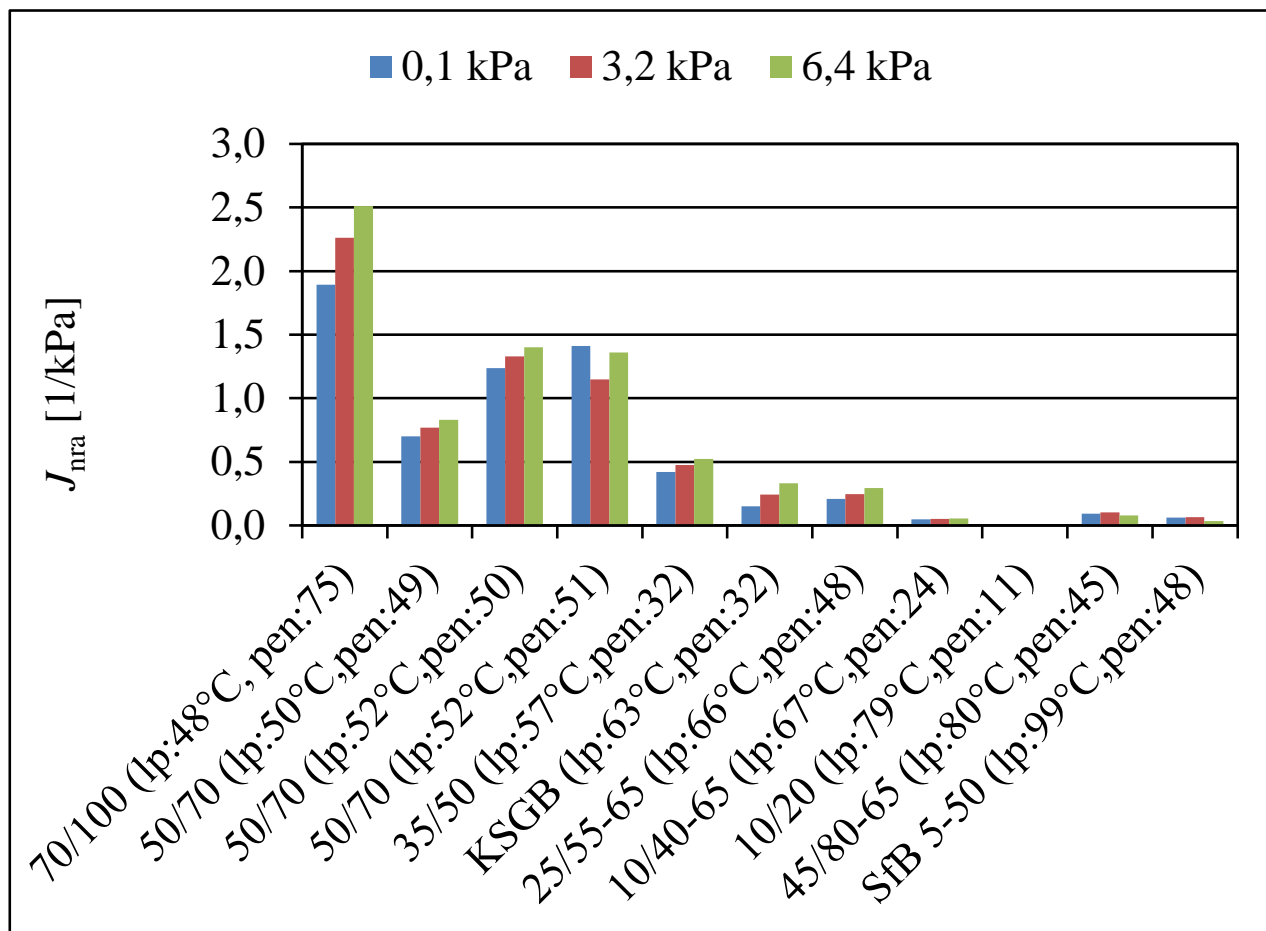
Átlagos fajlagos rugalmas alakváltozás ( $\gamma_{rec,a}$ , [%])



# Kutatási módszerek

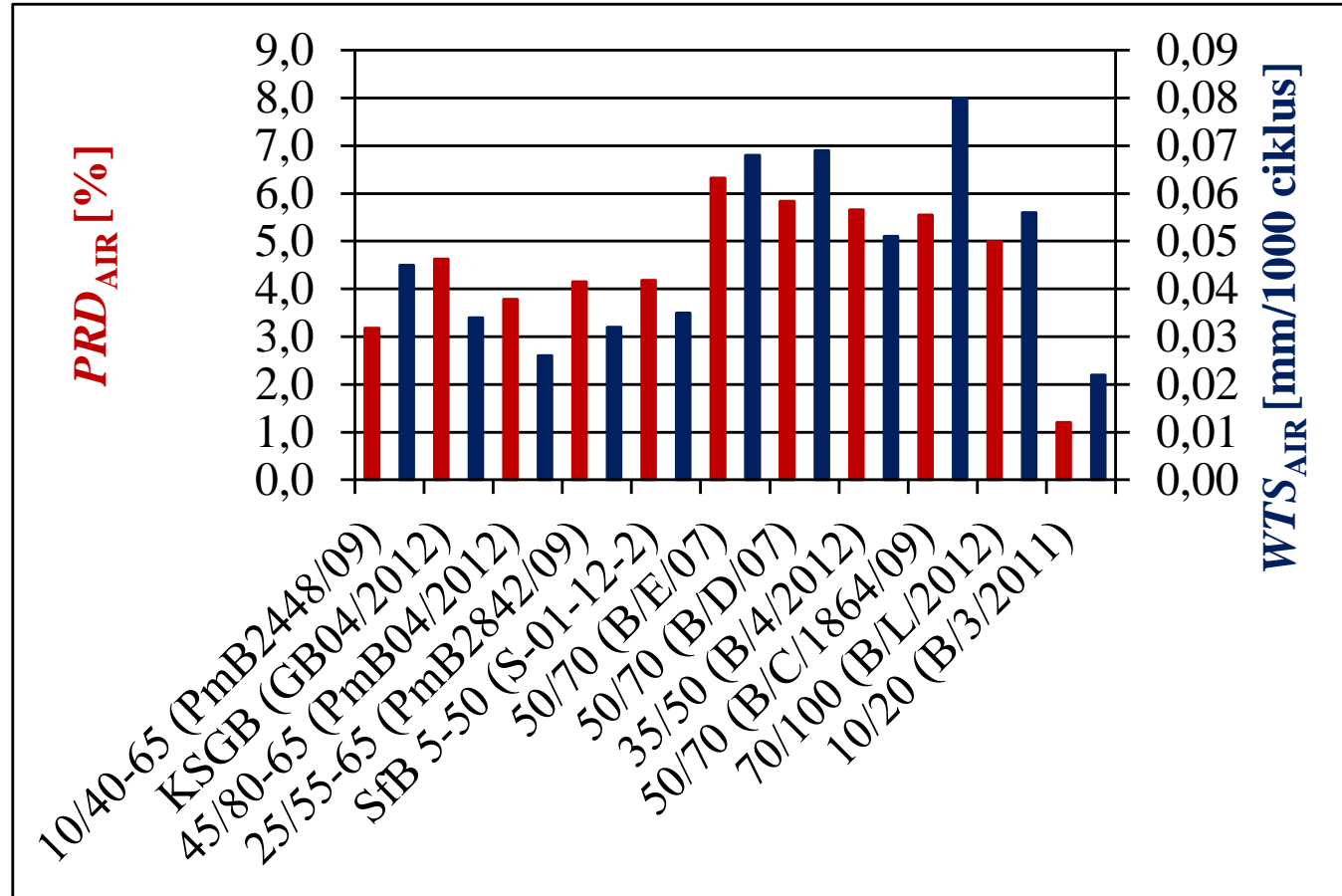
## Néhány jellemző alakulása

Átlagos visszamaradó kúszási hajlam ( $J_{nr,a}$ )



# Kutatási módszerek

## AC 16 kopó aszfaltkeverékek keréknyom-képződési jellemzői (WTT)

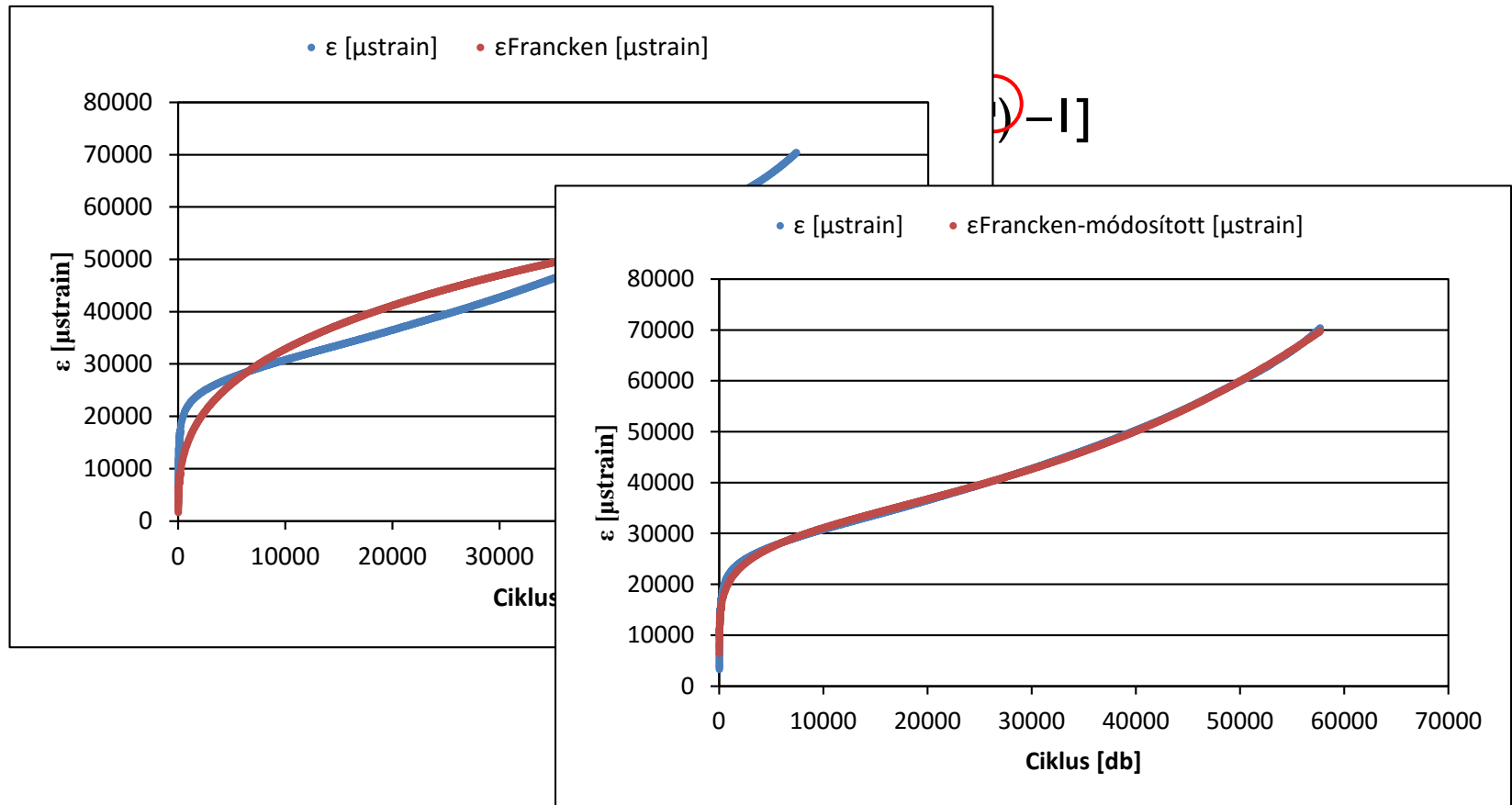




# Kutatási módszerek

## Aszfaltkeverékek ismételt terhelésű összenyomódási vizsgálata (TCCT)

Görbeillesztés a Francken-képlet módosításával



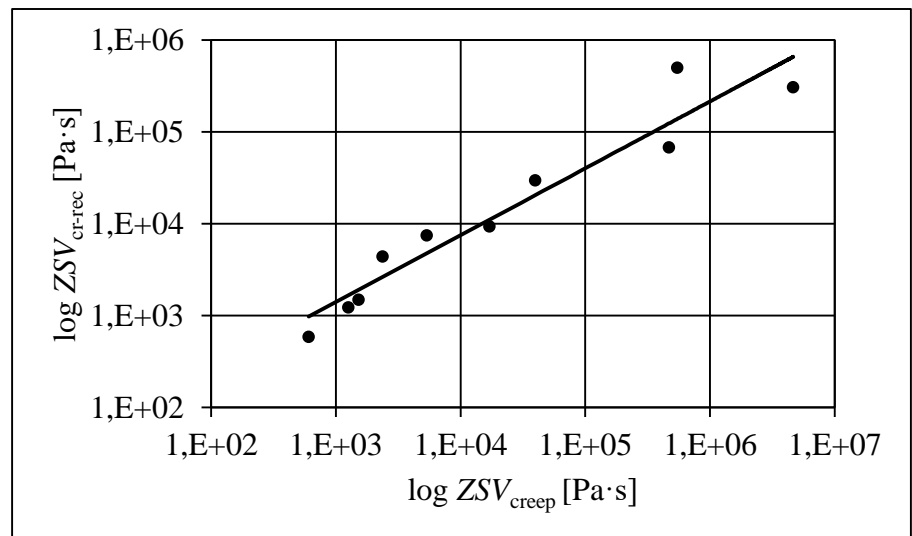
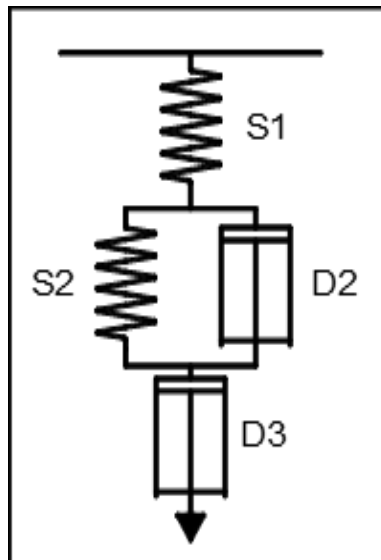
# Kutatás eredményei

## Pen&LP vs. fundamentális jellemzők

- $PI$  és  $G^*$ ,  $\eta^*$ ,  $G^*/\sin\delta$  között  $T=+20^\circ\text{C}$ ,  $f=10\text{Hz}$  mellett kedvező a kapcsolat útépitési bitumeneknél ( $R^2=0,8..0,9$ )

## CEN/TS 15325 eljárása

- $\eta_0$  ( $ZSV_{creep}$ ) időigényes mérése helyett egyciklusos kúszás-visszalakulás módszere  $\eta_3$  ( $ZSV_{cr-rec}$ ) ( $R^2=0,92$ )



# Kutatás eredményei

## Pen&LP vs. fundamentális jellemzők

- $PI$  és  $G^*$ ,  $\eta^*$ ,  $G^*/\sin\delta$  között  $T=+20^\circ\text{C}$ ,  $f=10\text{Hz}$  mellett kedvező a kapcsolat útépitési bitumeneknél ( $R^2=0,8..0,9$ )

## CEN/TS 15325 eljárása

- $\eta_0$  ( $ZSV_{creep}$ ) időigényes mérése helyett egyciklusos kúszás-visszalakulás módszere  $\eta_3$  ( $ZSV_{cr-rec}$ ) ( $R^2=0,92$ )

## Keréknyom-képződési vizsgálat vs. Bitumenjellemzők

- $PRD_{air}$  kedvező kapcsolata  $G^*_{0,883}$ ,  $\eta^*_{0,883}$ ,  $\eta_{3MSCR}(3,2)$ ,  $J_{nr,a}(3,2)$ ,  $\gamma_{un,a}(3,2)$  ( $R^2=0,84..0,87$ )

## Kúszássebesség vs. Bitumenjellemzők

- $f_c$  és  $\eta_{3MSCR}(3,2)$ ,  $J_{nr,a}(3,2)$ ,  $\gamma_{un,a}(3,2)$  jellemzők kedvező kapcsolata ( $R^2=0,81..0,87$ )

# Kutatás eredményei

Regresszió  
analízis  
statisztikai  
eredménye

Bitumenjellemzők		PRD <sub>AIR</sub>	WTS <sub>AIR</sub>	$n_{in}$ mért	$\varepsilon_{in}$ mért	$f_{c}$ mért	mért/ $n_{in}$	$\varphi$ mért	$n_{in}$ reg	$\varepsilon_{in}$ reg	$f_{c}$ reg	$n_{reg}/n_{in}$
Jellemző típusa	Paraméter											
Empirikus	Penetráció 25°C-on	Gyenge	Nincs	Gyenge	Nincs	Gyenge	Gyenge	Gyenge	Gyenge	Nincs	Gyenge	Gyenge
	Gyűrűs-golyós lágyuláspont	Nincs	Közepes	Gyenge	Nincs	Gyenge	Gyenge	Nincs	Gyenge	Nincs	Gyenge	Gyenge
	Penetrációs index	Gyenge	Közepes	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs
Fundamentális (T=60°C)	$G_{10}^*$	Jó	Nincs	Jó	Nincs	Gyenge	Gyenge	Gyenge	Jó	Nincs	Gyenge	Gyenge
	$J_{10}^*$	Közepes	Nincs	Jó	Nincs	Gyenge	Gyenge	Gyenge	Jó	Nincs	Gyenge	Gyenge
	$G_{10}^*/\sin\delta$	Jó	Nincs	Jó	Nincs	Gyenge	Gyenge	Gyenge	Jó	Nincs	Gyenge	Gyenge
	$\eta_{10}^*$	Jó	Nincs	Jó	Nincs	Gyenge	Gyenge	Gyenge	Jó	Nincs	Gyenge	Gyenge
	$G_{0,883}^*$	Jó	Nincs	Jó	Nincs	Közepes	Gyenge	Gyenge	Nagyon jó	Nincs	Gyenge	Gyenge
	$J_{0,883}^*$	Jó	Nincs	Gyenge	Nincs	Közepes	Gyenge	Gyenge	Gyenge	Nincs	Gyenge	Gyenge
	$\eta_{0,883}^*$	Jó	Nincs	Nagyon jó	Nincs	Közepes	Gyenge	Gyenge	Nagyon jó	Nincs	Gyenge	Gyenge
	$G_3^*$	Jó	Nincs	Jó	Nincs	Gyenge	Gyenge	Gyenge	Jó	Nincs	Gyenge	Gyenge
	$J_3^*$	Jó	Nincs	Gyenge	Nincs	Gyenge	Gyenge	Gyenge	Gyenge	Nincs	Gyenge	Gyenge
	$\eta_3^*$	Jó	Nincs	Jó	Nincs	Gyenge	Gyenge	Gyenge	Jó	Nincs	Gyenge	Gyenge
	$\gamma_{LVE5\%}$	Gyenge	Nincs	Gyenge	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Gyenge	Nincs	Nincs	Nincs
	$\gamma_{LVE10\%}$	Közepes	Nincs	Jó	Nincs	Nincs	Nincs	Gyenge	Jó	Nincs	Nincs	Nincs
	ZSV <sub>creep</sub>	Gyenge	Gyenge	Gyenge	Nincs	Gyenge	Gyenge	Nincs	Gyenge	Nincs	Gyenge	Gyenge
	ZSV <sub>cr-rec</sub>	Gyenge	Gyenge	Közepes	Nincs	Közepes	Közepes	Nincs	Közepes	Nincs	Közepes	Közepes
	$\eta_{3MSCR(3,2)}$	Jó	Gyenge	Nagyon jó	Nincs	Jó	Jó	Közepes	Nagyon jó	Nincs	Jó	Jó
	$J_{nra}(0,1)$	Jó	Közepes	Jó	Nincs	Nagyon jó	Jó	Gyenge	Jó	Nincs	Jó	Jó
	$J_{nra}(3,2)$	Jó	Gyenge	Jó	Nincs	Jó	Jó	Gyenge	Jó	Nincs	Jó	Jó
	$J_{nra}(6,4)$	Jó	Gyenge	Közepes	Nincs	Jó	Jó	Gyenge	Közepes	Nincs	Jó	Jó
	$\Delta J_{nra}(0,1-3,2)$	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs
	$\Delta J_{nra}(3,2-6,4)$	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs
	$\Delta J_{nra}(0,1-6,4)$	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs
	$\gamma_{reca}(0,1)$	Gyenge	Közepes	Jó	Nincs	Közepes	Közepes	Nincs	Jó	Nincs	Közepes	Jó
	$\gamma_{reca}(3,2)$	Gyenge	Közepes	Közepes	Nincs	Közepes	Közepes	Nincs	Közepes	Nincs	Közepes	Közepes
	$\gamma_{reca}(6,4)$	Gyenge	Gyenge	Közepes	Nincs	Gyenge	Közepes	Nincs	Közepes	Nincs	Közepes	Közepes
	$\gamma_{una}(0,1)$	Jó	Közepes	Jó	Nincs	Nagyon jó	Jó	Gyenge	Jó	Nincs	Jó	Jó
	$\gamma_{una}(3,2)$	Jó	Gyenge	Jó	Nincs	Jó	Jó	Gyenge	Jó	Nincs	Jó	Jó
	$\gamma_{una}(6,4)$	Jó	Gyenge	Közepes	Nincs	Jó	Jó	Gyenge	Közepes	Nincs	Jó	Jó
	$\Delta\gamma_{reca}(0,1-3,2)$	Gyenge	Gyenge	Közepes	Nincs	Közepes	Közepes	Nincs	Közepes	Nincs	Közepes	Közepes
	$\Delta\gamma_{reca}(3,2-6,4)$	Gyenge	Gyenge	Közepes	Nincs	Közepes	Közepes	Nincs	Közepes	Nincs	Közepes	Közepes
	$\Delta\gamma_{reca}(0,1-6,4)$	Gyenge	Közepes	Közepes	Nincs	Közepes	Közepes	Nincs	Közepes	Nincs	Közepes	Közepes
	SVF	Közepes	Nincs	Jó	Nincs	Közepes	Közepes	Gyenge	Jó	Nincs	Közepes	Közepes
	SSV	Közepes	Gyenge	Közepes	Nincs	Közepes	Közepes	Gyenge	Közepes	Nincs	Közepes	Közepes
Fundamentális (T=+20°C)	$G_{10}^*$	Gyenge	Nincs	Gyenge	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Gyenge	Nincs	Nincs	Nincs
	$G_{10}^*/\sin\delta$	Gyenge	Nincs	Közepes	Nincs	Nincs	Nincs	Gyenge	Közepes	Nincs	Nincs	Nincs
	$\eta_{10}^*$	Gyenge	Nincs	Gyenge	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Gyenge	Nincs	Nincs	Nincs
	$\gamma_{LVE95\%}$	Jó	Nincs	Nagyon jó	Nincs	Gyenge	Gyenge	Gyenge	Jó	Nincs	Gyenge	Gyenge
	$\gamma_{LVE90\%}$	Jó	Nincs	Jó	Nincs	Nincs	Nincs	Gyenge	Jó	Nincs	Nincs	Nincs

# Kutatás eredményei

## Miben nyújtanak többet a teljesítményalapú paraméterek?

- Az  $\eta_{3\text{MSCR}}(3,2)$ ,  $\gamma_{\text{una}}(3,2)$  és  $J_{\text{nra}}(3,2)$  reológiai jellemzők alapján az **azonos összetételű kőanyagalmazzal** készülő aszfaltbeton keverék WTT és TCCT vizsgálatok során nyújtott **teljesítménye jó közelítéssel előrebecsülhető**.
- A fenti **reológiai paraméterekkel** jellemzett bitumenek közül az aszfaltbeton keverékekkel szemben támasztott melegviselkedési követelmények figyelembe vételével a **legkedvezőbb bitumentípus választható ki** alkalmazásra.
- A WTT és TCCT összefüggései hasznosak lehetnek a hazai gyakorlatban korábban elvégzett szabványos és nagy mennyiségben rendelkezésre álló WTT vizsgálatok eredményeinek felhasználásánál.

# További kutatási célok

- **Más reológiai modellek** alkalmazása a paraméterek meghatározására ( $\eta_{3MSCR}$ )
- **További aszfalttípusok** teljesítményi tulajdonságainak kutatása a kötőanyag reológiai jellemzőinek tekintetében (SMA, PA, BBTM)
- **Különböző kőtermékek** alkalmazása, **azok hatásainak vizsgálata** a teljesítményi tulajdonságokra
- **„In situ” vizsgálatok**, lehetséges beépítési helyek keresése
- **További aszfaltjellelmezők** (pl. fáradás, komplex modulus) együttes egymásra hatásának vizsgálata
- **Hidegviselkedési jellemzők** vizsgálata



# És akkor „A kérdés”

**Aszfaltkeverék-tervezés támogatása a bitumének dinamikus nyíróreométeres (DSR) vizsgálatával, avagy elég-e a penetráció és lágyuláspont ismerete a maradó alakváltozás előrebecsléséhez?**

Klímaváltozás? Hőség napok? SHRP? Nyomvályúk? A teljesítmény „20-30%”-a?

Úgy tűnik, rövid távon elegendő. DE közép és hosszú távon biztosan szükség lesz a teljesítményalapú jellemzők vizsgálatára és használatára a tervezés során. Ehhez meg kell találni a megfelelő paramétereket.

---

# Köszönöm a figyelmet!

Dr. Füleki Péter  
fulekip@sze.hu