

TANULMÁNY

BETONBURKOLATOK
HAJLÍTÓ-HÚZÓSZILÁRDSÁGÁNAK
FÁRADÁSA ISMÉTELT TERHELÉS HATÁSÁRA

Budapest, 2007. augusztus 5. és szeptember 30. között készült.

Dr. Liptay András
műszaki szakértő

TARTALOM

1. **AZ ELSŐ CSOPORTBA TARTOZÓ, LEGNAGYOBB FESZÜLTSEGTŐL FÜGGŐ FÁRADÁS**
 - 1.1. Vesic-Saxena összefüggése a beton húzószilárdságának fáradására
 - 1.2. Michael I. Darter USA által kidolgozott összefüggések
 - 1.2.1. Sawan és Darter által ismertetett fáradási összefüggés (jele: Darter 1.)
 - 1.2.2. Darter 2. második összefüggése szerint
 - 1.2.3. Darter harmadik és negyedik összefüggése
 - 1.3. Belgiumi Útügyi Kutatóintézetben kidolgozott méretezési módszer fáradási összefüggése (egyenlőtlen hőmérséklet eloszlás nélküli eset)
 - 1.4. A pályabeton fáradási tulajdonsága a Portland Cement Association (PCA) USA 1985-ben kidolgozott új méretezési eljárása szerint
 - 1.5. A betonburkolat méretezésénél figyelembe vett fáradási összefüggés Japánban
2. **MÁSODIK CSOPORTBA TARTOZÓ $\sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ ARÁNYÁVAL KORRIGÁLT FÁRADÁSI ÖSSZEFÜGGÉSEK**
 - 2.1. Svéd méretezési módszer szerint
 - 2.2. Belgiumi fáradási összefüggés az egyenlőtlen hőmérséklet eloszlás figyelembe vételével
 - 2.3. A betonburkolatok méretezésének Olaszországban bevezetett módszerénél alkalmazott fáradási összefüggés
 - 2.4. Fáradási összefüggés Spanyolországban
 - 2.5. Kínában alkalmazott fáradási összefüggés
3. **A FÁRADÁSI ÖSSZEFÜGGÉSEK HARMADIK CSOPORTJA $\Delta\sigma/f_{tk}$ ÉS σ_{\min}/f_{tk} ARÁNYOK HASZNÁLATÁVAL**
 - 3.1. Hollandiában és Dániában alkalmazott fáradási összefüggés

4. KÜLÖNBÖZŐ FÁRADÁSI ÖSSZEFÜGGÉS CSOPORTOK EGYÜTTES BEMUTATÁSA

4.1. Az első csoportba tartozó fáradási összefüggések

4.1.1. Vesic-Saxena összefüggése

4.1.2. Darter fáradási összefüggései

4.1.2.1. Darter 1. módszer

4.1.2.2. Darter 2. módszer

4.1.2.3. Darter 3. lineárisnak nevezett összefüggése

4.1.2.4. Darter 4. exponenciálisnak nevezett összefüggés

4.1.3. Belgiumi Útügyi Kutatóintézet fáradási összefüggése

4.1.4. PCA USA 1985. fáradási összefüggése

4.1.5. Fáradási összefüggés Japánban

4.2. Második csoportba tartozó összefüggések:

4.2.1. Svéd módszer

4.2.2. Belgiumi Útügyi Kutatóintézet fáradási összefüggése

4.2.3.. Domenichini (Olaszország) fáradási összefüggése

4.2.4. Spanyolországban alkalmazott fáradási összefüggés

4.2.5. A kínai összefüggés

4.3. Harmadik csoportba tartozó fáradási összefüggés

4.3.1. Hollandiában és Dániában alkalmazott fáradási összefüggés

4.4. A fáradási összefüggések értékelése

5. JAVASLAT A FÁRADÁSI ÖSSZEFÜGGÉSRE

5.1. Az első csoportba tartozó összefüggések

5.2. A második csoportba tartozó összefüggések:

5.3. Javaslat

A betonburkolatok ismételt igénybevétel hatására bekövetkező fáradási szilárdságának ismerete a méretezés egyik fontos feltétele. A fáradási szilárdság meghatározására sok vizsgálatot végeztek, legtöbbször laboratóriumban gerenda próbatesteken. Végeztek kísérleteket épített betonburkolatokon is. A laboratóriumi és a helyszíni eredmények alapján sok összefüggést határoztak meg, ezek áttekintését szükségesnek tartom, hogy a hazai méretezésekhez a megfelelő kiválasztását és alkalmazását javasolni lehessen.

A fáradási összefüggések három csoportba sorolhatók, ezek a következők:

- Az első csoportban a legnagyobb igénybevételek együttes hatására kialakult (σ_{\max}) feszültség ismételt fellépésének hatásából számítják a szilárdság fáradását.
- A második csoportban a legnagyobb igénybevételek mellett külön figyelembe veszik a legkisebb, az egyenlőtlen hőmérséklet eloszlásból keletkező (σ_{\min}) feszültséget is és a $\sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ arányával módosítják a fáradási összefüggést.
- A harmadik csoportban a legnagyobb és legkisebb feszültség ($\Delta\sigma$) különbségének értéke alapján határozzák meg ismételt igénybevehetőség számát és a legkisebb (σ_{\min}) feszültség (f_t) szilárdsághoz viszonyított σ_{\min}/f_t arányával módosítják az összefüggést.

A következőkben a fáradási szilárdság meghatározására néhány összefüggést ismertetek a fáradási csoportokba soroltan.

1. AZ ELSŐ CSOPORTBA TARTOZÓ LEGNAGYOBB FESZÜLTSEGTŐL FÜGGŐ FÁRADÁS

1.1. Vesic-Saxena összefüggése a beton húzószilárdságának fáradására

A beton fáradásának ellenőrzésére a Trans-European North-South Motorway Project (TEM) keretében a betonburkolatokra kidolgozott ajánlásában Vesic-Saxena [1.] képletét adták meg, ez az alábbi:

$$N = (\sigma_{\text{eng}}/\sigma_h)^4 * 225000$$

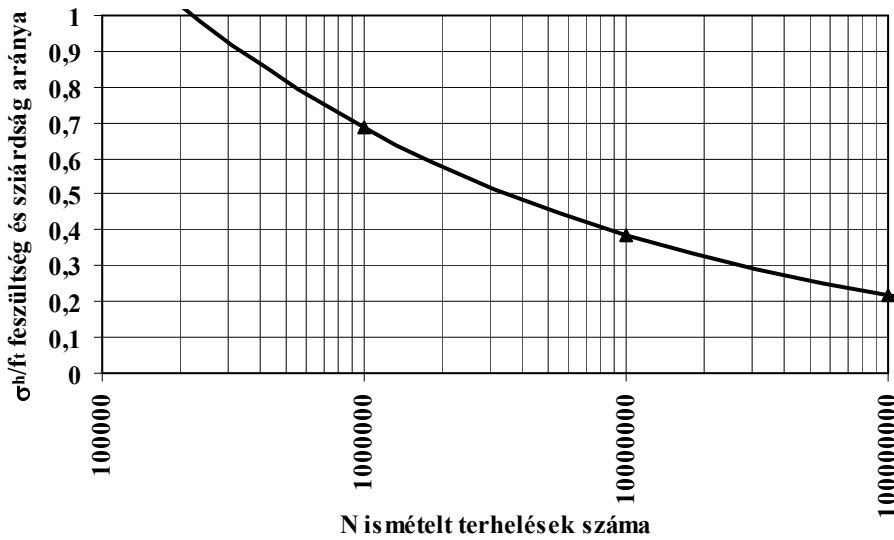
ahol

- N a megengedhető teherismétlések száma,
- σ_{eng} méretezésnél figyelembe vehető hajlító-húzószilárdság 5,0 N/mm²,
- σ_h a számított hajlító húzófeszültség.

Átalakítva a $\sigma_h/\sigma_{\text{eng}}$ arány kifejezésére az összefüggés a következő:

$$\sigma_h/\sigma_{\text{eng}} = \frac{1}{\sqrt[4]{\frac{N}{225000}}}$$

A teherismétlések számától a $\sigma_h/\sigma_{\text{eng}}$ a feszültség és szilárdság arányának a függését az **1. ábra** mutatja. Az ábrából jól látható, hogy ez az összefüggés nem a beton húzószilárdságának fáradását jellemzi, ennek ellenére lehet, hogy 10⁶ -10⁷ teherismétlések közötti tartományban az ismétlések számának meghatározásához még megfelelően használható.



1. ábra Vesic-Saxena szerint a feszültség és szilárdság arányának a függése a teherismétlések számától

1.2. Michael I. Darter USA által kidolgozott összefüggések

1.2.1. Sawan és Darter által ismertetett fáradási összefüggés

Sawan és Darter a fáradási összefüggését a következő [2.] cikkben közölték:

J.S. Sawan, M. I. Darter: Design of Slab Thickness and Joint Spacing for jointed Plain Concrete Pavement

Workshop on Theoretical Design of Concrete Pavements 1986. Epen – The Netherlands

Az összefüggést Domenichini is ismertette az alábbi cikkében sok egyéb összefüggéssel együtt [3.]:

Lorenzo Domenichini, Paola di Mascio: Procedure for JPCP Thickness Design in Italy 2nd International Workshop on the Theoretical Design of Concrete Pavements

Sigüenza – Spain 1990. October 4 – 5

A cikk szerint a hajlító-húzószilárdság fáradási összefüggése az ismételt igénybevétel hatására a következő (a továbbiakban ezt **Darter 1-24%** módszerének jelöljük):

$$\log N = 16,61 - 17,61 \cdot SR$$

ahol

SR	σ_{\max}/MR	→	a meghibásodás valószínűsége 24 %,
MR	modulus of rupture (Itáliában a húzószilárdság gerendán kétpontos erőterheléssel meghatározva 4,5 MPa),		
N	az ismételt igénybevételek száma.		

A összefüggést átalakítva a σ_{\max}/MR arány kifejezésével a következő egyenletet kapjuk:

$$\sigma_{\max}/MR = \frac{16,61 - \log N}{17,61} = 0,9432 - 0,05678 \cdot \log N$$

Az MR értékét nem 28 napos korban hanem idősebb korra átszámítva is alkalmazzák. Az átszámításra a következő összefüggést adta meg Domenichini:

$$MR(t) = MR(28) * [1,22 + 0,17 * \log t - 0,05 * (\log t)^2]$$

1.2.2. Darter 2. második összefüggése

Az összefüggést ismertető cikk [4.] a következő:

Michael I. Darter. Concrete Slab VS Beam Fatigue Models

2nd International Workshop on the Theoretical Design of Concrete Pavements 1990.

Darter ebben a cikkben ismertette, hogy az USA-ban 1943. és 1973. között a betonburkolat fáradási összefüggésének meghatározására sok fárasztási kísérletet végeztek.

A vizsgálati eredményekkel számított fáradási összefüggésben a teherátadás miatt 0,75 szorzót alkalmaztak. A gerenda próbatestek ismételt igénybevételével meghatározott fáradási összefüggés a következő:

$$\log N = 17,61 - 17,61 \cdot (\text{STRESS} / \text{FS})$$

ahol

STRESS	húzófeszültség a gerenda alján (psi),
FS	a húzószilárdság gerendán kétpontos erőterheléssel meghatározva (psi),
N	a meghibásodásig az ismételt igénybevételek száma

Az összefüggésből kifejezve a STRESS/FS arányt a következő egyenletet kapjuk:

$$\text{STRESS}/\text{FS} = \frac{17,61 - \log N}{17,61} = 1 - 0,05678 \cdot \log N$$

Az adatokat három fárasztási kísérlet tanulmányból vették át, melyeknél két erővel terhelt hasáb próbatesteket vizsgáltak.

1.2.3. Darter harmadik és negyedik összefüggése

Ezeket az összefüggéseket is az 1.2.2. szakaszban közölt cikk [4.] tartalmazza. Az előző összefüggések adataitól eltérően a következő összefüggésekhez használt adatok betonlemezekon végzett fárasztó vizsgálat eredményei. A harmadik és negyedik összefüggést tehát betontáblák fárasztó vizsgálatának eredményei. A cikkben közölt adatok azonban csak $N = 35000$ terhelés ismétlésig terjedtek, ezt meghaladó terhelésméltés hatása ismeretlen.

Harmadik (Darter 3-50%.) lineárisnak nevezett összefüggés az alábbi:

$$\log N = -0,3498 + 2,512 (FS/STRESS)$$

Az összefüggést STRESS/FS arányra kifejezve a következő egyenletet kapjuk:

$$STRESS/FS = \frac{2,512}{\log N - 0,3498}$$

Negyedik (Darter 4-50%.) exponenciálisnak nevezett (ugyanazokra az adatokra vonatkozó) összefüggés a következő:

$$\log N = 2,13 (FS / STRESS)^{1,2}$$

ahol

STRESS kritikus hajlító húzófeszültség a betonlemez alján (psi),
 FS a húzószilárdság gerendán kétpontos erőterheléssel meghatározva (psi),
 N a terhelés ismétlése, a betontáblák törési valószínűsége 50 %.

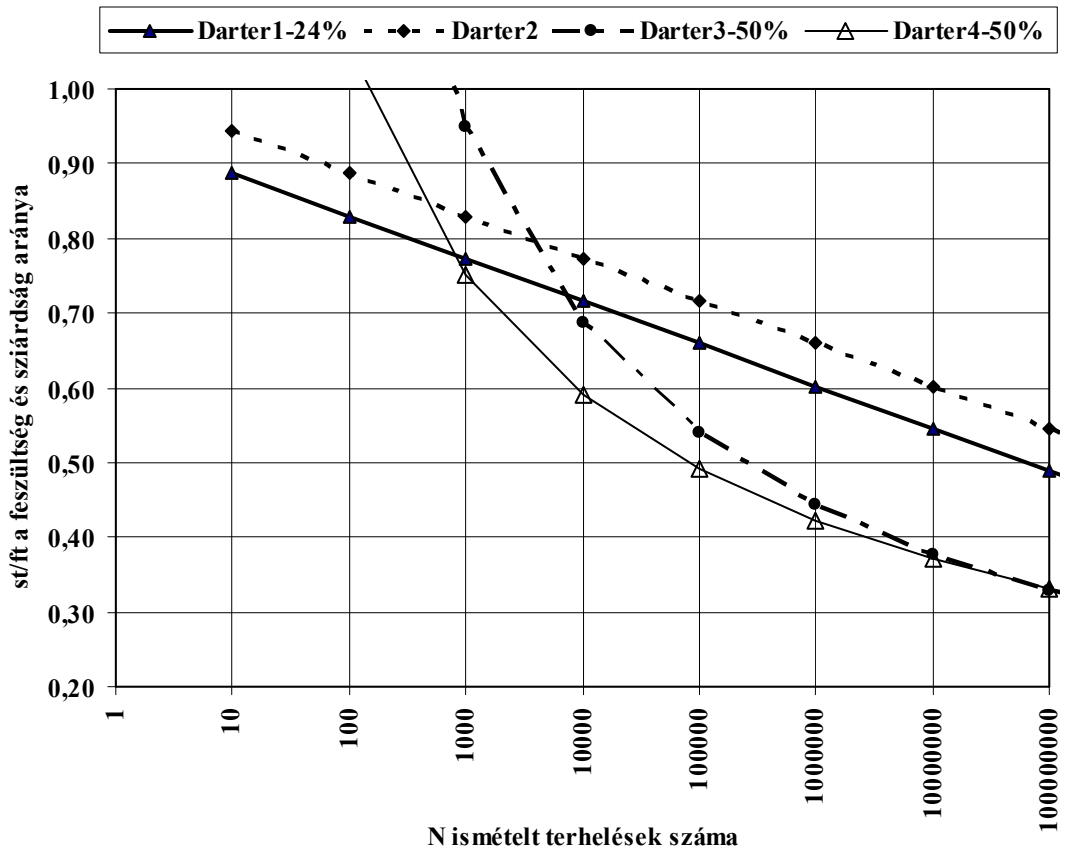
A szerző az exponenciális összefüggést tartja megbízhatóbbnak.

A Darter 4-50% összefüggésből a STRESS/FS arányt kifejezve, a következő összefüggést kapjuk:

$$STRESS/FS = \frac{1}{\sqrt[1,2]{0,4695 \cdot \log N}}$$

Michael I. Darter által kidolgozott összefüggéseket együtt a **2. ábrában** mutatom.

A harmadik (lineáris) és negyedik (exponenciális) összefüggést mintegy 51 eredményből határozták. Az ismétlések száma 35000, ezért ezeket az összefüggéseket 10^5 -nél nagyobb ismétlések becslésére használni értelmetlen.



2. ábra

Michael I. Darter által kidolgozott terhelésmérlések számának összefüggései a feszültség és a szilárdság arányával

1.4. Belgiumi Útügyi Kutatóintézetben kidolgozott méretezési módszer fáradási összefüggése (egyenlőtlen hőmérséklet eloszlás nélküli esetben)

A fáradási összefüggést a következő [5.] cikk ismerteti:

VEVERKA V.: The Belgian Road Research Center's Design Procedure for Concrete Pavements

Workshop on Theoretical Design of Concrete Pavements 1986. Epen – The Netherlands

A Belgiumi Útügyi Kutatóintézetben kidolgozott és használt fáradási összefüggés a következő:

$$\text{Log } N = 20 - 20 \cdot (\sigma / MR)$$

illetve σ / MR arányra kifejezve:

$$\sigma / MR = 1 - 0,05 \cdot \log N$$

ahol	$\sigma = \sigma_p$	ha a betontábla hossza < 6 m,
	$\sigma = \sigma_{\max}$	ha a betontábla hossza > 6 m,
	σ_p	a terhelésből keletkező (ismételt terheléssel törést előidéző) feszültség,
	$\sigma_{\max} = \sigma_p + \sigma_{\Delta t}$	feszültség a forgalmi terhelésből + egyenlőtlen hőmérséklet eloszlásból,
	N	az ismételt igénybevételek száma,
	MR	a húzószilárdság.

A méretezésnél azonban csökkentő tényezőt is használnak, mely a betonburkolat törésének illetve meghibásodásának vállalt kockázatát fejezi ki. A méretezéshez a következő összefüggést alkalmazzák:

- a) Fáradási tönkremenetel abban az esetben, ha egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlásból keletkező feszültséget nem kell figyelembe venni (folytatólagosan vasalt betonburkolatnál és hézagolt betonburkolatnál, ha a betontáblák 6 m-nél rövidebbek):

$$\sigma \leq \bar{r} (1 - 0,05 \cdot \log n) \cdot X \qquad n = 0,25 N_c$$

- b) Fáradási tönkremenetel abban az esetben, ha egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlásból keletkező feszültséget is számításba kell venni (hézagolt betonburkolatoknál):

$$s \leq \bar{r} (1 - 0,05 \cdot \log n) \cdot X \qquad n = \frac{0,25 \cdot N_c}{1000}$$

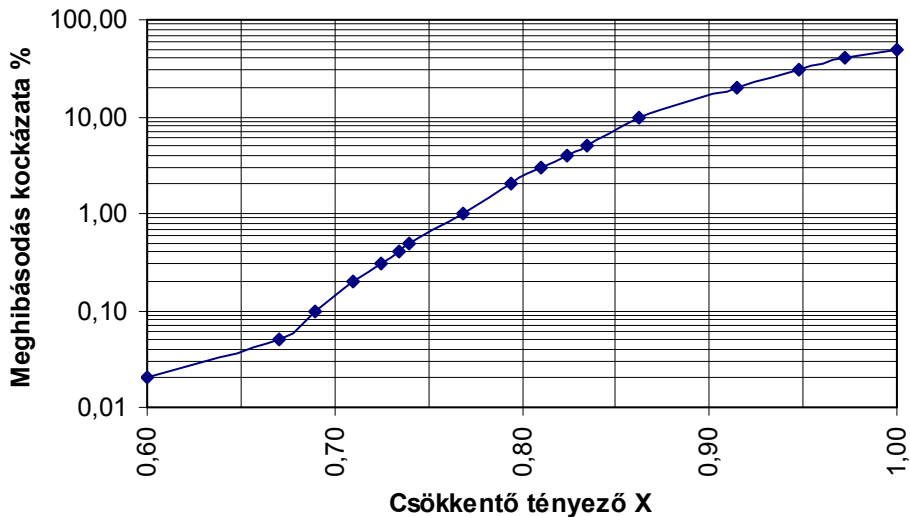
Ezt az esetet részletesen a 2.2. szakasz ismerteti!

ahol	σ	a hasznos terhelés által létrehozott hajlítás húzófeszültsége,
	s	az összes hajlító-húzófeszültség (a terhelésből létrejött σ feszültség és az egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlás húzófeszültségének összege),
	\bar{r}	a betonburkolat átlagos hajlító húzószilárdsága,

- X a meghibásodás vagy törés vállalt kockázata alapján alkalmazott csökkentő tényező a **3. ábrából**,
- Nc az egyik irányban a burkolat 40 éves élettartama alatt áthaladó tehergépkocsik száma:

Ha a forgalomra nincs érvényes forgalomszámlálási adat, akkor az alábbi felvett 40 éves forgalmi adattal számolnak:

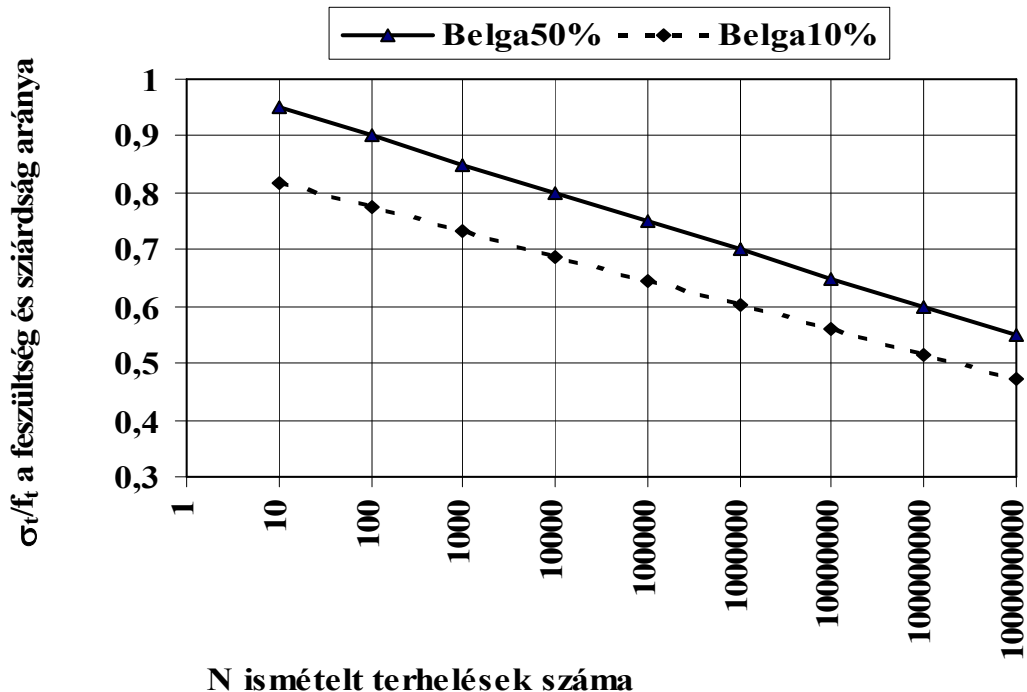
2x3 forgalmi sávval kialakított autópályán	$5,4 \cdot 10^7$
2x2, forgalmi sávval kialakított autópályán	$3,2 \cdot 10^7$
2x2, forgalmi sávval kialakított elsőrendű főúton	$3,2 \cdot 10^7$



3. ábra A meghibásodás illetve táblatörés vállalt kockázatától függően alkalmazható csökkentő tényező

A fáradási összefüggést, abban az esetben, ha az egyenlőtlen hőmérséklet eloszlásból származó feszültséget nem kell figyelembe venni a **4. ábra** mutatja.

Az ábrában két vállalt törési kockázattal adtuk meg a fáradási összefüggést. A Belga50% jelű összefüggésnél a törési kockázat 50 %, a Belga10% jelű összefüggés törési kockázata 10 %.



4. ábra A beton húzószilárdságának fáradási összefüggése Belgiumban

1.4. A pályabeton fáradási tulajdonsága a Portland Cement Association (PCA) USA 1985-ben kidolgozott új méretezési eljárása szerint

A méretezési módszert és a fáradási összefüggést a következő [6.] cikk ismerteti:
Packard R. G., Tayabji S. D.: New PCA Thickness Design Procedure for Concrete Highway and Street Pavements
3rd International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation, Prudue 1985

Az ismétlődő igénybevétel hatását a beton húzószilárdságának fáradására a következő összefüggéseket határozták meg:

Ha $\sigma_p/MR > 0,55$ akkor az összefüggés;

a) $\log N = 11,73 - 12,08 (\sigma_p/MR)$, átalakítva:

$$\sigma_p/MR = \frac{11,73 - \log N}{12,08} = 0,971 - 0,08278 \cdot \log N$$

ahol,

N a terhelés ismétlések száma,

σ_p az egységtengely hatására kialakuló feszültség,

MR a hajlító húzószilárdság.

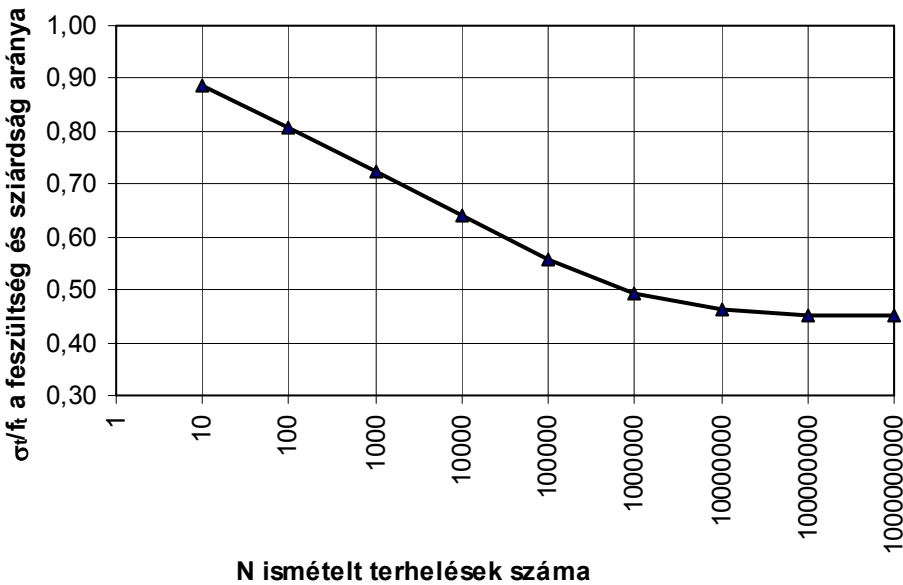
Ha $\sigma_p/MR = 0,45$ és $0,55$ közötti, akkor az összefüggés;

b) $N = \left[\frac{4,2577}{(\sigma_p / MR) - 0,4325} \right]^{3,268}$ átalakítva: $\sigma_p/MR = 0,4325 + \frac{4,2577}{[N]^{3,268}}$

Ha $\sigma_p/MR < 0,45$, akkor

c) $\log N =$ nincs korlátozva (bármilyen nagy lehet)

Az összefüggést az **5. ábra** mutatja.



5. ábra A beton húzószilárdságának fáradása az ismételt igénybevétel hatására
PCA (USA) által kidolgozott összefüggés

1.5. A betonburkolat méretezésénél figyelembe vett fáradási összefüggés Japánban

A Japán módszert az alábbi [7.] cikk ismerteti:

S. IWAMA, T. FKUDA: Design Method and Researches of Concrete Pavements in Japan

Workshop on Theoretical Design of Concrete Pavements 1986. Epen – The Netherlands

1985 évben végrehajtott kísérleti útszakaszokon a hajlító húzószilárdság 60 %, 70 %, 80 %, 85%, és 90 % arányának megfelelő feszültséget előidéző ismételt igénybevétellel terhelték a betonburkolatot a szakaszok tönkremeneteléig. A kísérleti eredmények alapján határozták meg a következő fáradási összefüggéseket:

$$\log N = 16,72 - 16,13 * (\sigma_{\max}/MR) \quad \text{hiba 15 %-os valószínűségének esetén,}$$

$$\log N = 20,04 - 18,52 * (\sigma_{\max}/MR) \quad \text{hiba 50 %-os valószínűségének esetén.}$$

ahol

σ_{\max} a forgalmi terhelés és az egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlás által létrejövő feszültség,

MR a hajlító-húzószilárdság,

N a terhelésméltlések száma.

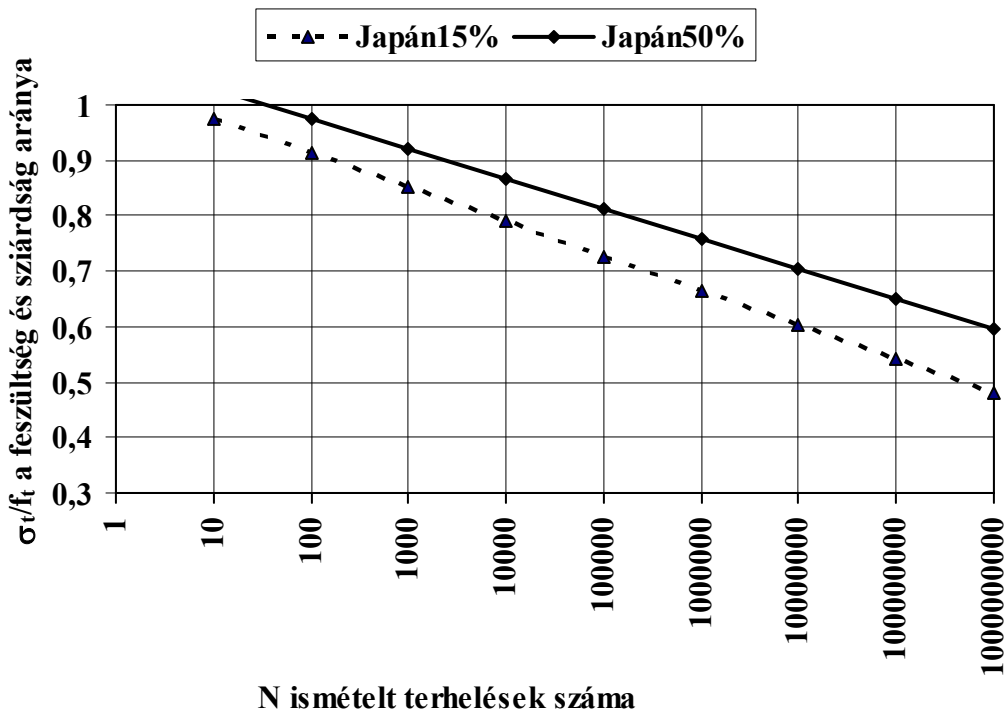
Japánban a cikk szerint a betonburkolatba 3 kg m² tömegű acél hálóvasalást helyeznek és ennek hatására keresztthézagokat 25 cm burkolatvastagságig 8 m-ként, ennél vastagabb burkolatoknál 10 m-ként készítették.

Az összefüggéseket a feszültség arányára kifejezve az alábbi egyenleteket kapjuk:

$$(\sigma_{\max}/MR)_{15} = 1,037 - 0,062 * \log N \quad \text{a hiba 15 \% -os valószínűségének esetén,}$$

$$(\sigma_{\max}/MR)_{50} = 1,082 - 0,054 * \log N \quad \text{a hiba 50 \% -os valószínűségének esetén.}$$

A fáradási függvényeket a **6. ábrában** mutatjuk.



6. ábra Japánban 1985 évben kísérleti betonburkolatú szakaszokon meghatározott fáradási összefüggés

2. MÁSODIK CSOPORTBA TARTOZÓ, $\sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ ARÁNYÁVAL KORRIGÁLT FÁRADÁSI ÖSSZEFÜGGÉSEK

2.1. Svéd méretezési módszer szerint

A svéd méretezést ismertető [8.] cikk az alábbi:

Örjan Petersson: Swedish Design Method for Jointed Concrete Pavements.
2nd International Workshop on the Theoretical Design of Concrete Pavements
Sigüenza – Spain 1990. October 4 - 5

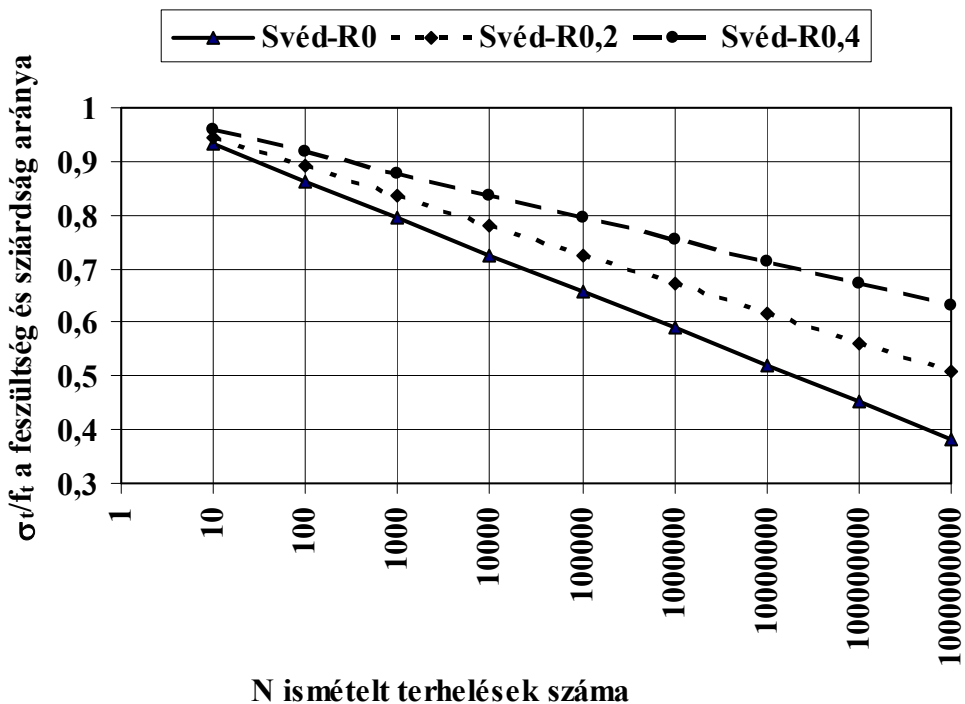
A hajlító-húzószilárdság fáradási összefüggése az ismételt igénybevétel hatására a következő:

$$\sigma_{ct}/f_{ct} = 1 - 0,0685 (1-R) \log N$$

ahol

- σ_{ct} legnagyobb feszültség (forgalmi terhelés + hőmérséklet-eloszlás), Mpa,
- f_{ct} előírt hajlító-húzószilárdság, Mpa,
- R $\sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ ha nincs egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlás, akkor R = 0,
- N 10 t-ás egységtengey terhelésismétlések száma.

Az összefüggést a 7. ábra mutatja.



7. ábra Fáradási szilárdság a svéd méretezési utasításban

Az ábrában három összefüggést ismertettek, ezek a következők:

- Svéd-R0 jelű összefüggésben nincs egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlás, ezért $\sigma_{\min} = 0$ és $R=0$.
- Svéd-R0,2 összefüggésben az $R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ arány =0,2.
- Svéd-R0,4 összefüggésben az $R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ arány =0,4.

2.2. Belgiumi fáradási összefüggés az egyenlőtlen hőmérséklet eloszlás figyelembe vételével

A módszert ismertetése szintén az 1.3. szakaszban már közölt, alábbi [5.] cikkben szerepel:

VEVERKA V.: The Belgian Road Research Center's Design Procedure for Concrete Pavements

Workshop on Theoretical Design of Concrete Pavements 1986. Epen – The Netherlands

A fáradási tönkremenetelt abban az esetben, ha az egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlásból keletkező feszültséget is számításba kell venni (hézagolt betonburkolatoknál) az alábbi összefüggésből számítják:

$$s \leq \bar{r} (1 - 0,05 \cdot \log n) \cdot X$$

ahol $n = \frac{0,25 \cdot N_c}{1000}$ (ezt abból a megfontolásból tették, hogy a legnagyobb hőmérsékleti gradiens éves gyakorisága 1 ‰ (1:1000),

σ a hasznos terhelés által létrehozott hajlítás húzófeszültsége,

s az összes hajlító-húzófeszültség (ha a betontábla hossza > 6 m a terhelésből létrejött σ_p feszültség és az egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlás $\sigma_{\Delta t}$ húzófeszültségének összege),

\bar{r} a betonburkolat átlagos hajlító húzószilárdsága,

X a meghibásodás vagy törés vállalt kockázata alapján alkalmazott csökkentő tényező az 1.3. szakaszban ismertetett 3. ábra szerint,

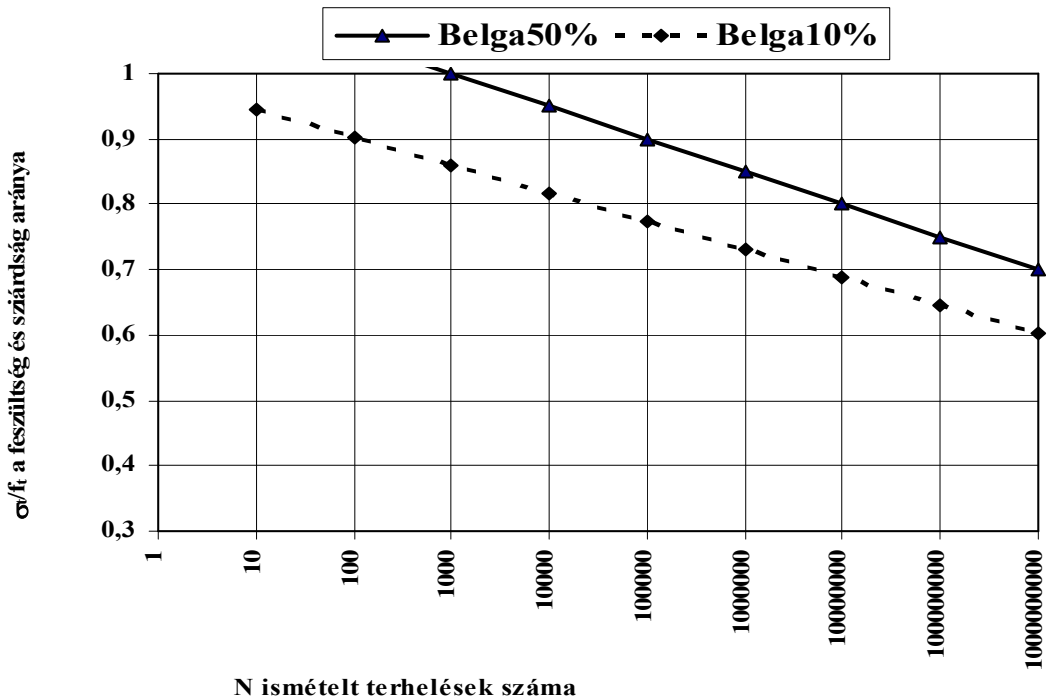
N_c az egyik irányban a burkolat 40 éves élettartama alatt áthaladó tehergépkocsik száma.

Ha a forgalomra nincs érvényes forgalmi adat, akkor az alábbiak szerint felvett 40 éves forgalommal számolnak:

2x3 forgalmi sávval kialakított autópályán	$5,4 \cdot 10^7$
2x2, forgalmi sávval kialakított autópályán	$3,2 \cdot 10^7$
2x2, forgalmi sávval kialakított elsőrendű főúton	$3,2 \cdot 10^7$

Az összefüggést a **8. ábra** mutatja.

Az ábrában a vállalt törési kockázattal két fáradási összefüggést mutatok be. A Belga 50% jelűnél a kockázat 50 %-os, a Belga10% jelű összefüggésben a törési kockázatot 10 %-kal számítottam.



8. ábra Belgiumban alkalmazott fáradási összefüggés egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlás esetén

2.3. A betonburkolatok méretezésének Olaszországban bevezetett módszerénél alkalmazott fáradási összefüggés

Az összefüggést az 1.2. szakaszban említett következő [3.] cikk ismerteti:
Lorenzo Domenichini - Paola di Mascio: Procedure for JPCP Thickness Design in Italy
2nd International Workshop on the Theoretical Design of Concrete Pavements
Sigüenza – Spain 4 – 5 October 1990.

A betonburkolat sérülését vagy tönkremenetelét előidéző igénybevétel nem várható azonnal a 28 napos kort követően, ezért szükségesnek tartják a betonburkolat 28 napos (4,5 Mpa) hajlító húzószilárdságának, amelyet gerendán két erőterheléssel határoznak meg, későbbi „t” érlelési korra is meghatározni, erre kidolgozott összefüggés a következő:

$$MR(t) = MR(28) * [1,22 + 0,17 * \log t - 0,05 * (\log t)^2]$$

ahol MR a hajlító húzószilárdság t éves korban vagy 28 napos korban

A rugalmassági modulus korral függő változását szintén számítják, a meghatározott összefüggés a következő

$$E = 18000 * \sqrt{R_{ck}}$$

ahol R_{ck} a burkolati beton jellemző nyomószilárdsága kg/cm^2 mértékegységben.

Poisson tényezőt $0,2$ értékkel veszik figyelembe.

Domenichini szerint a fáradási összefüggés a következő:

$$\log N = 10,48 \frac{(1 - SR)}{1 - R}$$

ahol N a terhelésismétlések száma,
 MR a hajlító húzószilárdság,

$$SR = \frac{\sigma_{max}}{MR};$$

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}};$$

$$\sigma_{max} = \sigma_p + \sigma_{\Delta t};$$

σ_p a forgalmi igénybevétel által létrejött feszültség,

$\sigma_{\Delta t}$ az egyenlőtlen hőmérséklet hatására kialakult húzófeszültség.

A terhelésismétlés száma helyett az SR arány értékére kifejezve az összefüggést a következő fáradási összefüggést kapjuk:

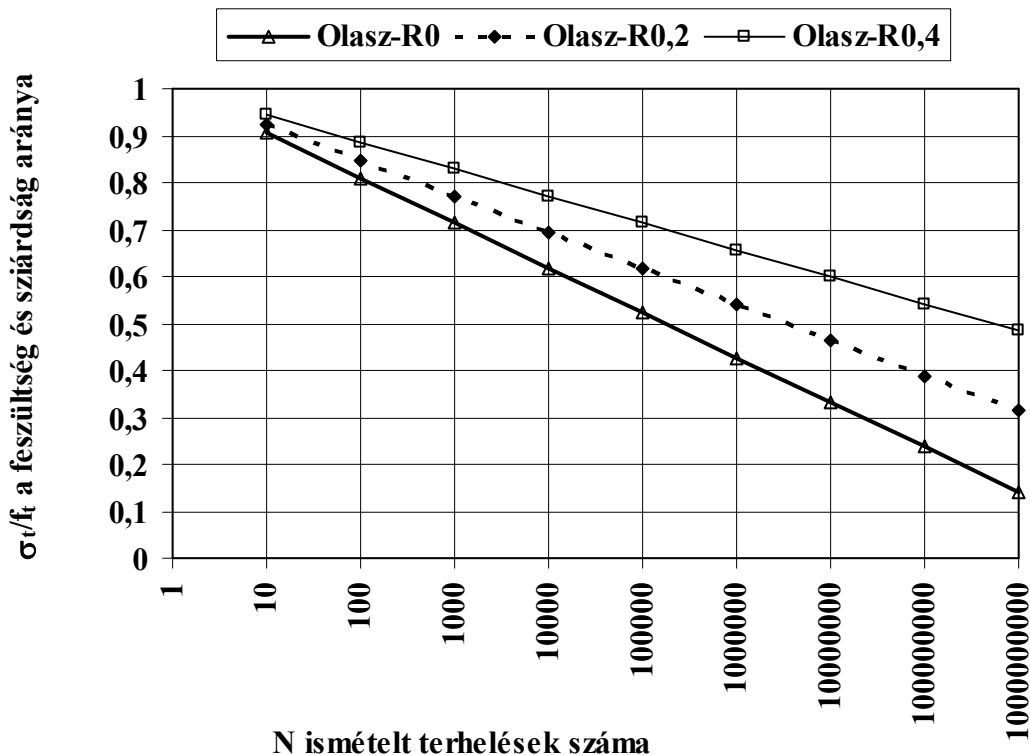
$$SR = \frac{\sigma_{max}}{MR} = 1 - (1-R) * \frac{\log N}{10,48}$$

Ha $\sigma_{min} = 0$ akkor

$$SR = \frac{\sigma_{max}}{MR} = 1 - \frac{\log N}{10,48}$$

Az összefüggést a **9. ábra** mutatja. Az ábrában az egyenlőtlen hőmérséklet miatt kialakuló feszültség arányának megválasztásával három fáradási összefüggést ismertettek, ezek az alábbiak:

- Olasz-R0 jelű összefüggésben az $R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max} = 0$ vagyis egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlásból nem keletkezik feszültség.
- Olasz-R0,2 jelű összefüggésben az $R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ arány $= 0,2$.
- Olasz-R0,4 jelű összefüggésben az $R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ arány $= 0,4$.



9. ábra Olaszországban alkalmazott összefüggés a fáradási szilárdságra, ha $\sigma_{\min} = 0$; $\sigma_{\min}/\sigma_{\max} = 0,2$; és $\sigma_{\min}/\sigma_{\max} = 0,4$.

2.4. Fáradási összefüggés Spanyolországban

Spanyolországban a beton kifáradásának meghatározására alkalmazott összefüggés hasonló az Olaszországban bevezetettel.

Az összefüggéseket a következő [9.] cikk ismerteti:

V. Faraggi - C. Jofre - C. Kraemer: Combined Effect of Traffic Loads and Thermal Gradients on Concrete Pavement Design

Workshop on Theoretical Design of Concrete Pavements 1986. Epen – The Netherlands

A fáradási összefüggésben a nullától eltérő legkisebb szilárdságot figyelembe vették és a fáradási szilárdságnak az igénybevételek ismétlésének számától függő fáradását az olaszoknál alkalmazottal azonos módon számítják.

A fáradási összefüggés a következő:

$$\log N = 11 \cdot \frac{\left(1 - \frac{\sigma_{\max}}{MR}\right)}{\left(1 - \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}\right)}$$

ahol

- σ_{\max} a forgalmi terhelés + az egyenlőtlen hőmérséklet hatására kialakuló feszültség,
- σ_{\min} az egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlás következményeként kialakuló hajlító-húzófeszültség,
- MR a hajlító-húzószilárdság,
- N a terhelés ismétlések száma.

Az összefüggést átalakítva a terhelés ismétlésétől függő szilárdsági arányt a következők szerint kapjuk meg:

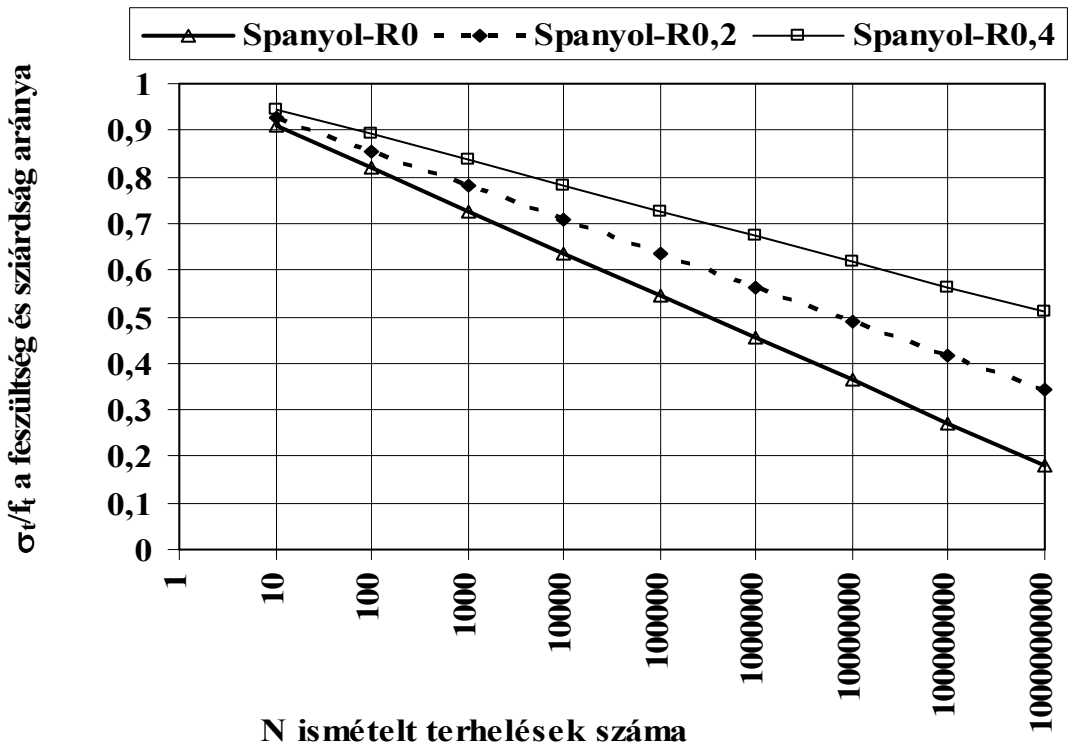
$$\sigma_{\max}/MR = 1 - 0,091 \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}\right) \cdot \log N$$

Ha $\sigma_{\min} = 0$, akkor az összefüggés a következő:

$$\sigma_{\max}/MR = 1 - 0,091 \cdot \log N$$

A fáradási összefüggést a **10 ábra** mutatja. Az ábrában az egyenlőtlen hőmérséklet miatt kialakuló feszültség arányának megválasztásával három fáradási összefüggést ismeretek, ezek az alábbiak:

- Spanyol-R0 jelű összefüggésben az $R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max} = 0$ vagyis egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlásból nem keletkezik feszültség.
- Spanyol-R0,2 jelű összefüggésben az $R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ arány = 0,2.
- Spanyol-R0,4 jelű összefüggésben az $R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ arány = 0,4.



10. ábra Spanyolok által használt fáradási összefüggés

2.5. Kínában alkalmazott fáradási összefüggés

A fáradási összefüggés Kínában is teljesen hasonló az olasz és spanyol összefüggésekkel. A méretezést és a fáradási összefüggést a következő [10.] cikk ismerteti:

Zukang Yao: Structural Design of Concrete Pavements in China
Third International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation
April 23-25, 1985 Prudue University West Lafayette, Indiana USA

Az alkalmazott fáradási összefüggés a következő:

$$\log N = 13,02 \cdot \frac{\left(0,944 - \frac{\sigma_p + \sigma_t}{MR}\right)}{\left(1 - \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_p + \sigma_t}\right)}$$

ahol

- σ_p a forgalmi terhelésből létrejött feszültség,
- σ_t az egyenlőtlen hőmérséklet hatására létrejött húzófeszültség,
- $\sigma_{\max} = \sigma_p + \sigma_t$
- MR a hajlító húzószilárdság,

N a terhelésismétlések száma.

Az átalakított összefüggés a következő:

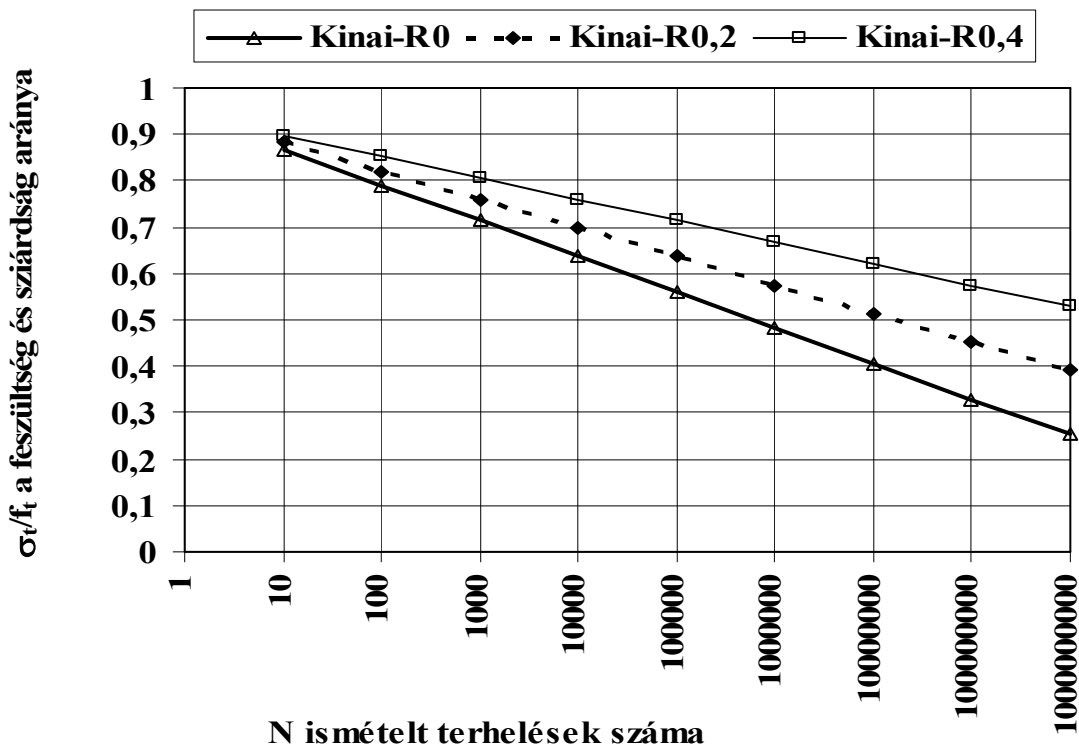
$$(\sigma_p + \sigma_t) / MR = 0,944 - 0,0768 \cdot \left(1 - \frac{\sigma_t}{\sigma_p + \sigma_t} \right) \cdot \log N$$

Ha $\sigma_t = 0$, akkor az összefüggés a következők szerint egyszerűsödik:

$$\sigma_p / MR = 0,944 - 0,0768 \cdot \log N$$

A kínai fáradási összefüggést a **11 ábrában** mutatjuk. Az ábrában az egyenlőtlen hőmérséklet miatt kialakuló feszültség arányának megválasztásával három fáradási összefüggést ismertettek, ezek az alábbiak:

- Kínai-R0 jelű összefüggésben az $R = \sigma_t / \sigma_{\max} = 0$ vagyis egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlásból nem keletkezik feszültség.
- Kínai-R0,2 jelű összefüggésben az $R = \sigma_t / \sigma_{\max}$ arány = 0,2.
- Kínai-R0,4 jelű összefüggésben az $R = \sigma_t / \sigma_{\max}$ arány = 0,4.



11. ábra A kínai fáradási összefüggés

3. A FÁRADÁSI ÖSSZEFÜGGÉSEK HARMADIK CSOPORTJA $\Delta\sigma/f_{tk}$ ÉS σ_{min}/f_{tk} ARÁNYOK HASZNÁLATÁVAL

3.1. Hollandiában és Dániában alkalmazott fáradási összefüggés

Hollandiában és Dániában Vereniging Nederlandse Cementindustrie által kifejlesztett VNC fáradási összefüggést használják. Ebben az összefüggésben is figyelembe veszik a igénybevétel hatására keletkező legnagyobb feszültség mellett a legkisebb feszültséget is, mert amennyiben a legkisebb feszültség nullánál nagyobb, akkor az ismétlődés hatására a fáradás lassabban következik be.

Az összefüggést a következő [11.] [12.] és [13.] cikkek ismertetik:

H. E. van der Most – M. Leewis: Design of Concrete Pavements
5th international Symposium on Concrete Roads Aachen 2 – 4 June 1986.

H. A. W. Cornelissen - M. Leewis: Fatigue experiments for the Design of Plain Concrete Pavements
Workshop on Theoretical Design of Concrete Pavements 1986. Epen – The Netherlands

L. J. M. Houben: Two Dimencional Finite Element analysis of Unreinforced Concrete Pavements
2nd International Workshop on the Theoretical Design of Concrete Pavements
Sigüenza – Spain 4 – 5 October 1990

A beton kifáradásáig az igénybevétel ismétlődésének száma a következő:

$$\log N = 12,6 \cdot \left[1 - \frac{0,8 \cdot \left(\frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{f_{bk}} \right)}{0,8 - \frac{\sigma_{\min}}{f_{bk}}} \right]$$

- ahol
- N a terhelésméltés száma a beton kifáradásáig,
 - σ_{\max} a forgalmi terhelés és az egyenlőtlen hőmérsékleteloszlás által keletkező feszültség,
 - σ_{\min} az egyenlőtlen hőmérsékleteloszlás által keletkező feszültség,
 - f_{bk} a beton hajlító húzószilárdságának jellemző értéke (Hollandiában $f_{bk} = 4,6$ N/mm² 90 napos korban).

A $\frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{f_{\text{bk}}} = \frac{\Delta\sigma}{f_{\text{bk}}}$ arányát kifejezve az összefüggés a következő:

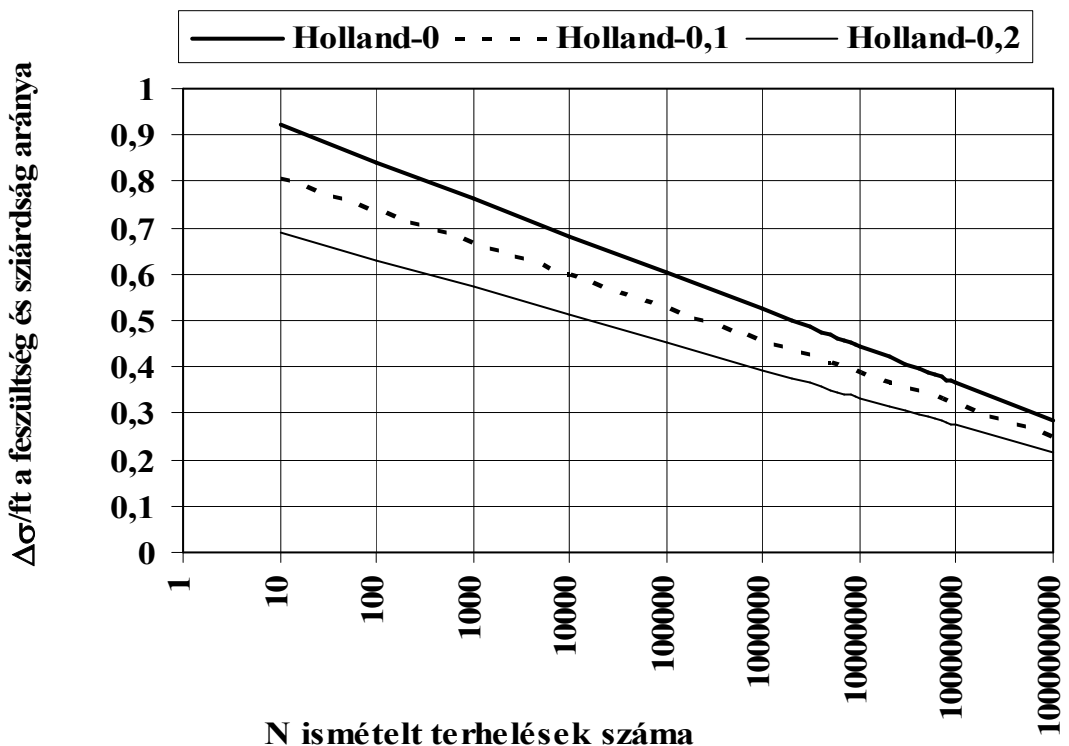
$$\frac{\Delta\sigma}{f_{\text{bk}}} = [1,25 - 0,0992 \cdot \log N] \cdot \left(0,8 - \frac{\sigma_{\min}}{f_{\text{bk}}}\right) = [1 - 0,07936 \cdot \log N] \cdot \left(1 - 1,25 \frac{\sigma_{\min}}{f_{\text{bk}}}\right)$$

Ha $\sigma_{\min} = 0$, akkor az összefüggés a következő:

$$\frac{\sigma_{\max}}{f_{\text{bk}}} = 1 - 0,07936 \cdot \log N = 1 - \frac{\log N}{12,6}$$

Az összefüggést a **12. ábra** mutatja. Az ábrában az egyenlőtlen hőmérséklet miatt kialakuló feszültség arányának megválasztásával három fáradási összefüggést ismertettek, ezek az alábbiak:

- Holland-0 jelű összefüggésben az $\sigma_{\min}/f_{\text{bk}} = 0$ vagyis egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlásból nem keletkezik feszültség.
- Holland-0,1 jelű összefüggésben az $\sigma_{\min}/f_{\text{bk}} = 0,1$.
- Holland-0,2 jelű összefüggésben az $\sigma_{\min}/f_{\text{bk}} = 0,2$.



12. ábra Holland Cementipari Szövetség által kidolgozott fáradási összefüggés (VNC módszer) $\sigma_{\min} = 0$; $\sigma_{\min}/f_{\text{bk}} = 0,1$; és $\sigma_{\min}/f_{\text{bk}} = 0,2$; esetben

Ha σ_{\min} nem egyenlő nullával, akkor a fáradási görbe hajlásszöge csökken, a beton kifáradása a terhelés ismétlődés hatására lassabban következik be, de a második csoportba tartozó összefüggésekhez képest a feszültségkülönbség aránya kisebb lesz az egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlásból származó feszültséget nem tartalmazó feszültség arányú összefüggéshez képest.

4. KÜLÖNBÖZŐ FÁRADÁSI ÖSSZEFÜGGÉS CSOPORTOK EGYÜTTES BEMUTATÁSA

A fáradási összefüggéseket a legnagyobb húzófeszültségnek a hajlítási húzószilárdsághoz viszonyított arányában fejeztük ki, és az ábrákban is az ordinátatengelyen ábrázoltuk σ_{\max}/f_t (legnagyobb feszültség/hajlító-húzószilárdság) arányt. A fáradási összefüggéseket három különböző csoportba soroltuk:

Az első csoportban a terhelés hatására kialakuló feszültség alsó határával nem foglalkoznak, az tehát nullától a legnagyobb feszültségig változik.

A második csoportban a legkisebb és legnagyobb feszültség arányával korrigálják a feszültség/szilárdság aránya és a terhelésismétlések száma közötti összefüggést. Ha a legkisebb szilárdság nagyobb lesz, akkor a terhelésismétlések száma miatt szükséges feszültség/szilárdság arány nagyobb lesz, illetve adott feszültség/szilárdság arány esetén a nullánál nagyobb legkisebb feszültség kedvező hatása miatt az ismétlések száma növelhető.

A harmadik csoportban nem a legkisebb és legnagyobb feszültség arányával korrigálják az összefüggést, hanem a legkisebb feszültség és a szilárdság arányát számítják, és nem a legnagyobb feszültséget viszonyítják a szilárdsághoz, hanem a legnagyobb és legkisebb feszültség különbségét.

Az 1.-3. fejezetben ismertetett összefüggéseket az eredeti cikkekben közölt jelölésekkel azonosan adtam meg, a következőkben azonban egységes jelöléseket alkalmazok az összefüggésekben a könnyebb összehasonlíthatóság érdekében, ezek a következők:

σ_{\max}	hajlító-húzófeszültség a legnagyobb terhelés hatására beleértve az egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlás okozta feszültséget is
σ_{\min}	legkisebb hajlító-húzófeszültség, mely általában a hőmérséklet-eloszlás hatására jön létre
f_t	hajlító-húzószilárdság általában hasáb alakú próbatesten, a támaszok közötti távolság harmadolásában két erőterheléssel vizsgálva
f_{tm}	hajlító-húzószilárdság átlagos értéke
f_{tk}	hajlító-húzószilárdság jellemző értéke
$\Delta\sigma$	σ_{\max} és σ_{\min} értékek különbsége

4.1. Az első csoportba tartozó fáradási összefüggések:

Az első csoportba tartozó összefüggéseket az alábbiakban megismételjük és a 13. ábrában együtt is bemutatjuk.

4.1.1. Vesic-Saxena összefüggése:

$$\sigma_{\max}/f_t = \frac{1}{\sqrt[4]{\frac{N}{225000}}}$$

4.1.2. Darter fáradási összefüggései:

4.1.2.1. Darter 1. módszer: meghibásodás valószínűsége 24 %

$$\sigma_{\max}/f_t = \frac{16,61 - \log N}{17,61} = 0,9432 - 0,05678 \cdot \log N$$

4.1.2.2. Darter 2. módszer $\sigma_{\max}/f_t = \frac{17,61 - \log N}{17,61} = 1 - 0,05678 \cdot \log N$

4.1.2.3. Darter 3. lineárisnak nevezett összefüggése:

$$\sigma_{\max}/f_t = \frac{2,512}{\log N - 0,3498}$$

4.1.2.4. Darter 4. exponenciálisnak nevezett összefüggés:

$$\sigma_{\max}/f_t = \frac{1}{\sqrt[1,2]{0,4695 \cdot \log N}}$$

„N” az ismétlések száma a betontáblák 50 %-ának töréséig.

4.1.3. Belgiumi Útügyi Kutatóintézet fáradási összefüggése:

A méretezéseknél ténylegesen alkalmazott fáradási tönkremenetelhez szükséges összefüggésre két változatot használnak. A jelenlegi 4.1.3. fáradási összefüggést abban az esetben alkalmazzák, ha az egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlásból keletkező feszültséget nem kell figyelembe venni. Ez az eset a folytatólagosan vasalt betonburkolatnál és 6 m-nél rövidebb betontábláknál. A másik összefüggésben egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlásból keletkező feszültséget is számításba veszik, lásd 4.2.2. szakasznál. Az egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlás feszültségét nem tartalmazó összefüggés a következő:

$$\sigma_{\max}/f_t = (1 - 0,05 \cdot \log n) \cdot X$$

ahol $n = 0,25 N_c$

$N_c =$ az egy irányban haladó tehergépkocsik száma 40 év alatt,

$X = 0,69 \rightarrow 0,1$ % hibakockázatnál

0,77 \rightarrow 1 % hibakockázatnál

0,835 \rightarrow 5 % hibakockázatnál

0,86 \rightarrow 10 % hibakockázatnál

0,91 \rightarrow 20 % hibakockázatnál

0,95 \rightarrow 30 % hibakockázatnál

0,97 \rightarrow 40 % hibakockázatnál

1,00 \rightarrow 50 % hibakockázatnál

4.1.4. PCA USA 1985. fáradási összefüggése:

Ha $\sigma_{\max}/f_t > 0,55$ akkor az összefüggés: $\sigma_{\max}/f_t = 0,971 - 0,08278 \cdot \log N$

Ha $\sigma_{\max} / f_t = 0,45$ és $0,55$ közötti, akkor az összefüggés:

$$\sigma_{\max} / f_t = 0,4325 + \frac{4,2577}{[N]_{3,268}^1}$$

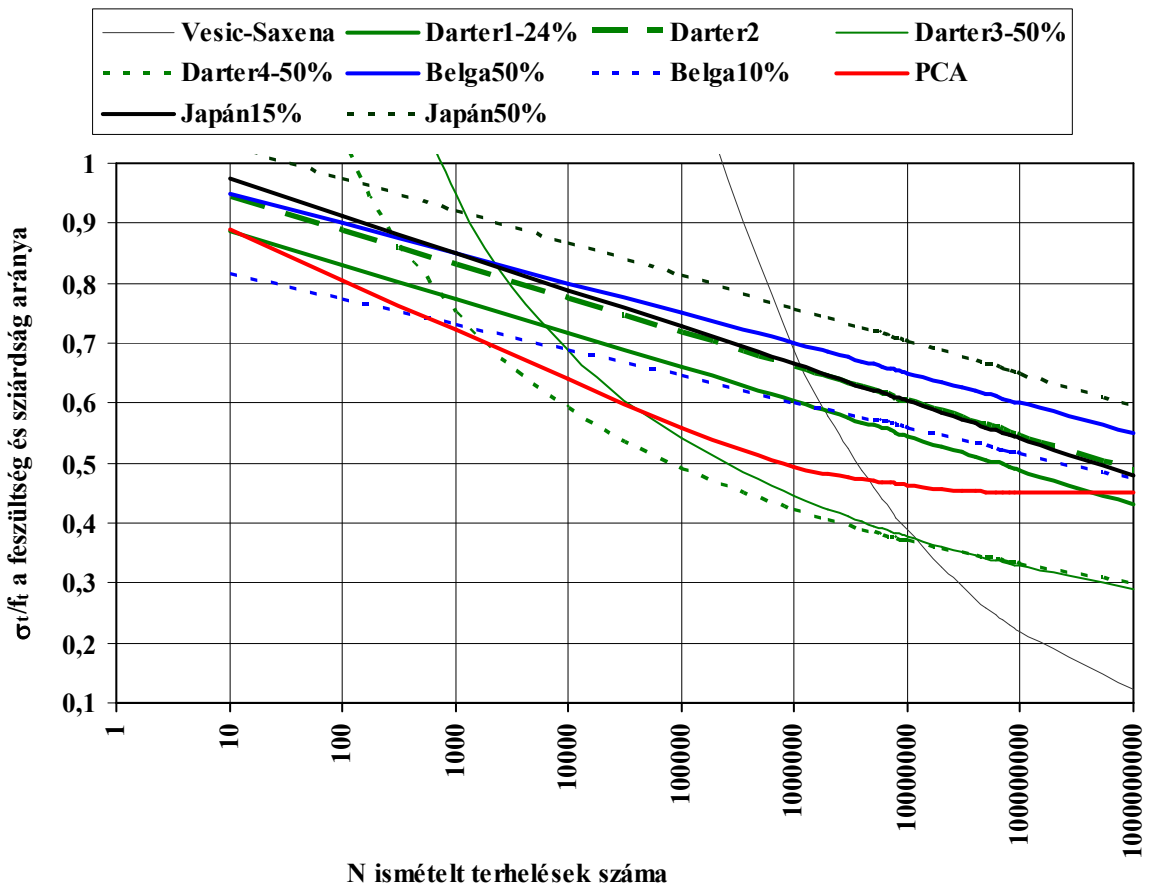
Ha $\sigma_{\max} / f_t < 0,45$, akkor $\log N$ nincs korlátozva (bármilyen nagy lehet)

4.1.5. Fáradási összefüggés Japánban

Japánban alkalmazott összefüggések 15 %-os és 50 %-os hiba-előfordulási valószínűségekre esetére a következők:

$$(\sigma_{\max} / f_t)_{15} = 1,037 - 0,062 * \log N \quad \text{a hiba 15 \% -os valószínűségének esetén,}$$

$$(\sigma_{\max} / f_t)_{50} = 1,082 - 0,054 * \log N \quad \text{a hiba 50 \% -os valószínűségének esetén.}$$



13. ábra Az első csoportba tartozó fáradási összefüggések

4.2. Második csoportba tartozó összefüggések:

A második csoportba tartozó összefüggéseket az alábbiakban megismételjük és a **12. ábrában** együtt is bemutatjuk.

4.2.1. Svéd módszer: $\sigma_{\max}/f_t = 1 - 0,0685 (1-R) \log N$

4.2.2. Belgiumi Útügyi Kutatóintézet fáradási összefüggése:

Fáradási tönkremenetel abban az esetben, ha egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlásból keletkező feszültséget is számításba kell venni (hézagolt betonburkolatoknál):

$$\sigma_{\max}/f_{tm} = (1-0,05 \cdot \log n) \cdot X \qquad n = \frac{0,25 \cdot N_c}{1000}$$

ahol

N_c = az egy irányban haladó tehergépkocsik száma 40 év alatt
X értékeit lásd 10.1.-4. képletnél.

4.2.3.. Domenichini (Olaszország) fáradási összefüggése:

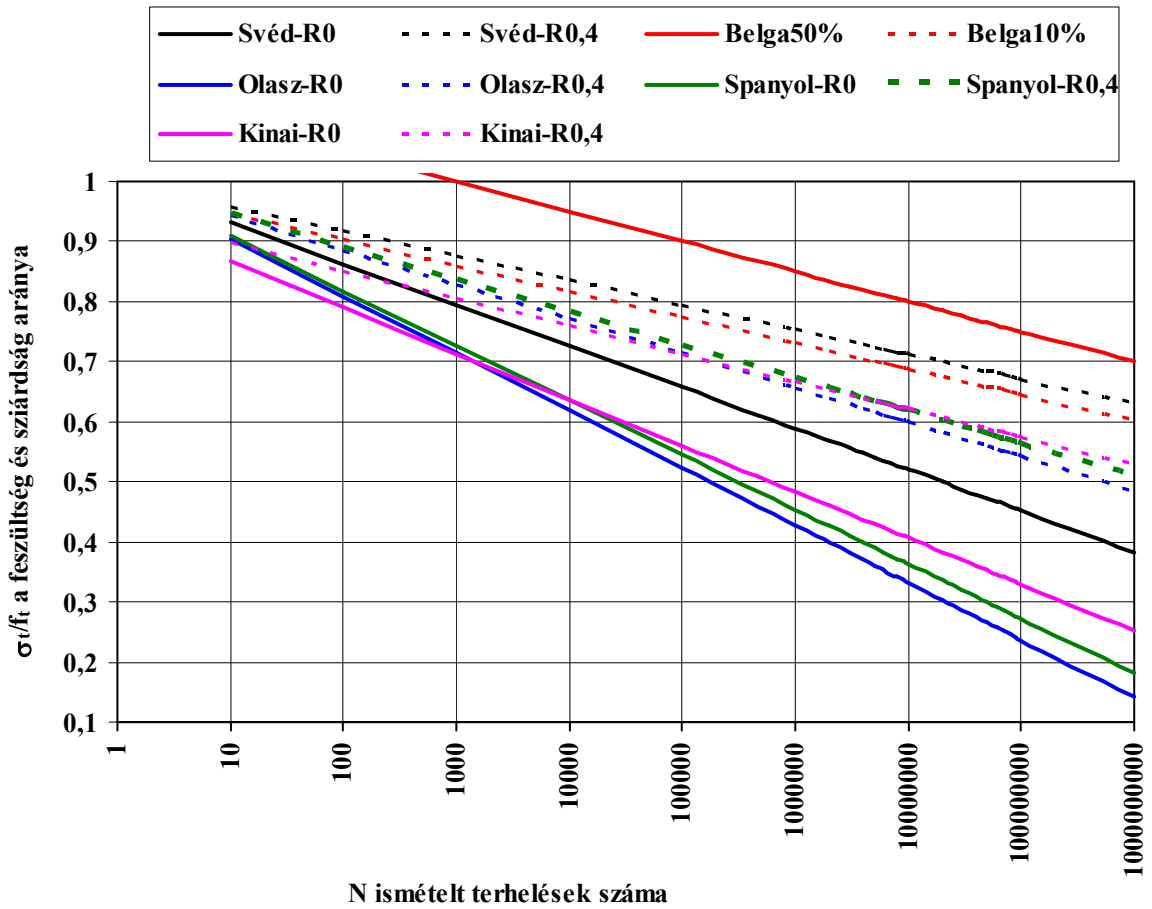
$$\sigma_{\max}/f_t = 1 - \left(1 - \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}\right) \cdot \frac{\log N}{10,48} = 1 - 0,09542 \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}\right) \cdot \log N$$

4.2.4. Spanyolországban alkalmazott fáradási összefüggés:

$$\sigma_{\max}/f_t = 1 - 0,091 \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}\right) \cdot \log N$$

4.2.5. A kínai összefüggés:

$$\sigma_{\max}/f_t = 0,944 - 0,0768 \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}\right) \cdot \log N$$



14. ábra A második csoportba tartozó fáradási összefüggések

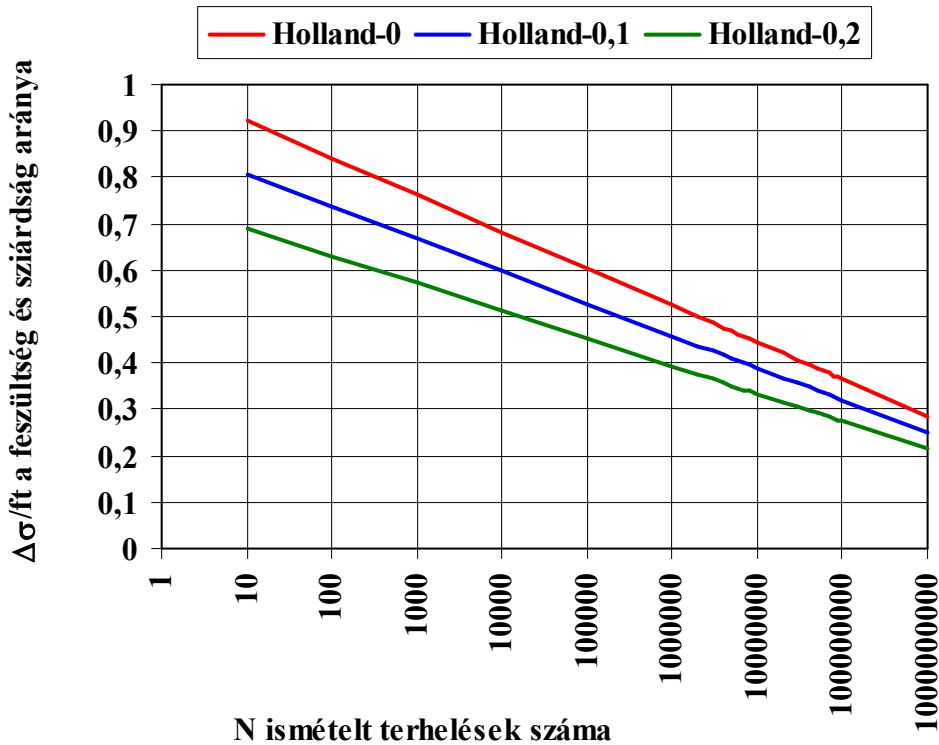
4.3. Harmadik csoportba tartozó fáradási összefüggés

4.3.1. Hollandiában és Dániában alkalmazott fáradási összefüggés:

$$\frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{f_{tk}} = \frac{\Delta\sigma}{f_{tk}} = [1,25 - 0,0992 \cdot \log N] \cdot \left(0,8 - \frac{\sigma_{\min}}{f_{tk}}\right)$$

Az összefüggést a **15. ábra** mutatja a következő feltételekkel és jelölésekkel

- | | |
|------------------------------|-------------------|
| $\sigma_{\min} = 0$ | jele: Holland-0 |
| $\sigma_{\min}/f_{tk} = 0,1$ | jele: Holland-0,1 |
| $\sigma_{\min}/f_{tk} = 0,2$ | jele: Holland-0,2 |



15. ábra A harmadik csoportba tartozó fáradási összefüggések

4.4. A fáradási összefüggések értékelése

Az ismételt igénybevételek hatására kialakuló fáradási szilárdságok kiszámítására készített összefüggéseket megismerve a következőket lehetett megállapítani.

Az első csoportba tartozó összefüggések alkalmazása azért célszerű, mert mindenfajta igénybevételnek a szilárdságra gyakorolt fárasztó hatását azonos módon veszi figyelembe, azonos módon számítja. Amennyiben többfajta, de nem azonos ismétlési számokkal fellépő igénybevételek hatását kell meghatározni, akkor azokat az ismétlési számoknak megfelelően kell számításba venni, és a megfelelőséget végül a Miner fáradási törvény alkalmazásával kell meghatározni.

Az első csoportba tartozó fáradási összefüggések közül Vesic-Saxena összefüggését nem tekinthetjük megfelelőnek, mert csak viszonylag szűk ismétlési számok esetén ad használható eredményt.

Ugyan csak használhatatlannak kell tekinteni Darter 3. és Darter 4. összefüggését, mert $N=35000$ terhelés ismétlési számra alapozott összefüggéssel nem lehet több millió ismétlés hatását megbecsülni.

A maradt összefüggések közül a legnagyobb figyelmet a **Japán összefüggés** érdemel, mert az összefüggést különböző vastagságú, igénybevételelű betontáblák ismételt terhelésének vizsgálatával, nagyméretű kísérletsorozat eredményeiből határozták meg.

Fontosnak tartom a **Portland Cement Association összefüggését**, mert az elméleti megfontolások szerint a legvalószínűbb, hogy a terhelő igénybevételnél létezik alsó határérték, melynél kisebb terhelés esetén a rendkívül nagy ismétlés mellett sem következik be tönkremenetel. A PCA összefüggését ismertető cikk sajnos nem közölt semmit arról, hogy az összefüggést mire alapozva határozták meg

A második csoportba tartozó összefüggések elméleti megfontolása nem teljesen fogadható el. Az egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlás hatására a betonlemezben hajlító-húzófeszültség keletkezik, mely a burkolat felső felülete közelében a legnagyobb, ha a lemez a hőmérsékletemelkedés és napsugárzás hatására felmelegedik, és az alsó felület még hűvös marad. Ilyen esetben a hasznos terhelés először a felsőrész húzó- és alsórész nyomófeszültségét szünteti meg, majd felül nyomó- alul húzófeszültséget hoz létre. A hasznos terhelés hatására kialakuló fárasztási szilárdság ezért kisebb, amikor a betonlemezben nincs feszültség, és nulláról emelkedik a legnagyobb húzófeszültségig.

Ezzel az elméleti okoskodással az a baj, hogy az egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlás óráról-órára változik, és nap közben a húzott-nyomott felület is változhat. Jelentősen változik a hőmérséklet az évszakok alatt is. Nincs tehát olyan állandó legkisebb húzó- és nyomófeszültség a betonburkolatban, melyet figyelembe lehetne venni, és ezzel csökkenteni lehetne a hasznos terhelés által létrehozott húzófeszültséget.

A fordított eset is előfordulhat éjszaka vagy télen a léghőmérséklet lehülésekor, mert ilyenkor a beton alsó felülete maradhat nagyobb hőmérsékletű, és a felső felület lesz hidegebb, tehát az alsó szélső szál lesz a húzott.

A betonburkolatokban kialakuló egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlásának figyelembevételére a méretezésnél ismerni kell a hőmérsékleti gradienst és annak éves változását az országban.

1972 július 10-én az M7 autópálya 31+000 km szelvényének körzetében a betonburkolatba, a pályaszerkezeti rétegekbe és földmübe beépített hőérzékelőkkel két éven keresztül folyamatosan mérte a hőmérsékletet a Betonútépítő Vállalat megbízása alapján a BME Építőanyag Tanszéke. Ezekből az adatokból megfelelő feldolgozással és értékeléssel a hazai betonburkolatok méretezésénél alkalmazni szükséges feltételek egyes kérdéseire választ lehetne kapni.

A második csoportba tartozó fáradási összefüggések közül az Olasz, Spanyol és Kínai fáradási összefüggés nagyjából azonos sávban halad, a három összefüggés közötti eltérés nem nagy. A belgiumi összefüggésben a σ_{\min} miatti korrekciót a többiektől eltérően határozták meg (az N ismétlés 1000-rel való osztásával), lehet, hogy ennek a következménye a sokkal kedvezőbb fáradási összefüggés. Számomra a **Svéd fáradási összefüggés** látszik legkiegyenlítettebbnek.

A harmadik csoportba tartozó összefüggés kevésbé átlátható, az eredménye valószínűleg nem nagyon tér el a második csoportban ismertetett összefüggésektől.

5. JAVASLAT A FÁRADÁSI ÖSSZEFÜGGÉSRE

A betonburkolatok hazai méretezésénél alkalmazandó fáradási összefüggést a következők alapján javaslom kiválasztani.

A felsorolt külföldi fáradási összefüggések közül a választásnál figyelembe venni javaslom az első és második csoportba tartozók közül a következőket.

5.1. Az első csoportba tartozó összefüggések:

A japán fáradási összefüggés talán a legfontosabb a burkolaton végzett fáradási kísérletek eredményeinek alkalmazása miatt

$$(\sigma_{\max}/f_t)_{15} = 1,037 - 0,062 * \log N \text{ a hiba } 15 \% \text{-os valószínűségének esetén,}$$

$$(\sigma_{\max}/f_t)_{50} = 1,082 - 0,054 * \log N \text{ a hiba } 50 \% \text{-os valószínűségének esetén.}$$

Portland Cement Association (PCA) USA szerinti fáradási összefüggése

Ha $\sigma_{\max}/f_t > 0,55$ akkor az összefüggés;

$$\sigma_{\max}/f_t = 0,971 - 0,08278 \cdot \log N$$

Ha $\sigma_{\max}/f_t = 0,45$ és $0,55$ közötti, akkor az összefüggés

$$\sigma_{\max}/f_t = 0,4325 + \frac{4,2577}{[N]_{3,268}^1}$$

Ha $\sigma_{\max}/f_t < 0,45$, akkor $\log N$ nincs korlátozva (bármilyen nagy lehet)

PCA összefüggését a következő polinommal javaslom követni azzal, hogy $\sigma_{\max}/f_t = 0,45$ helyett, $0,40$ értékig csökkenhet, és $0,40$ -nél kisebb érték esetén az N bármilyen nagy ismétlési száma megfelel:

$$\sigma_{\max}/f_t = 1,0 - 0,115 \cdot \log N + 0,00547 \cdot (\log N)^2$$

5.2. A második csoportba tartozó összefüggések:

Ha a második csoportba tartozó összefüggéseknek megfelelőt szükségesnek tartanánk alkalmazni, akkor a **Svéd módszer** javasolom figyelembe venni:

$$\sigma_{\max}/f_t = 1 - 0,0685 \left(1 - \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}\right) \log N$$

5.3. Javaslat

Mérlegelve az eddigieket és a kiválasztott kisebb csoportokat az összes eddig vizsgálthoz hasonlítva a javaslatom a következő.

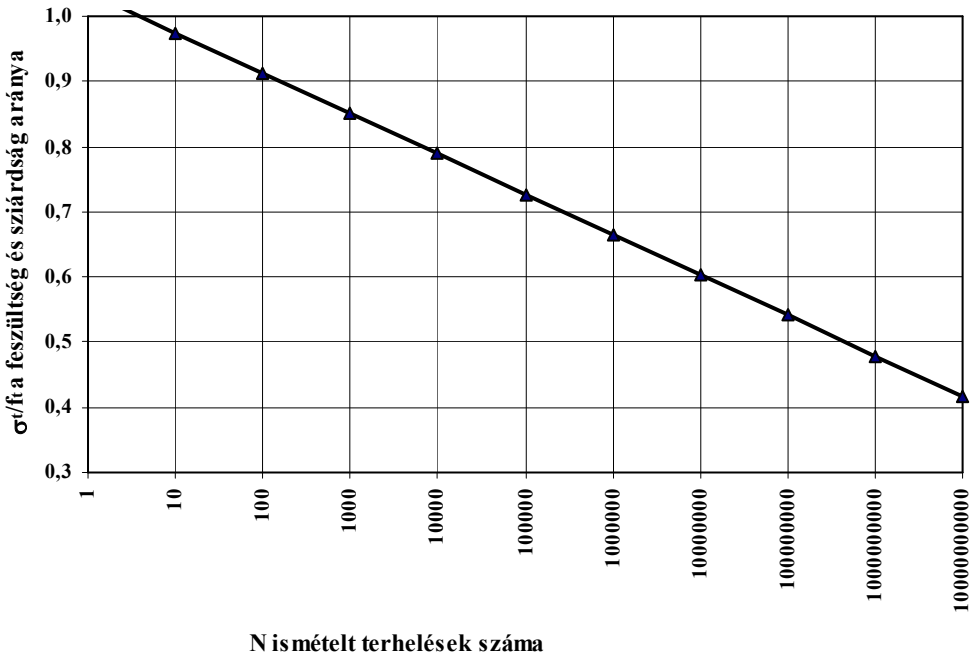
Fogadjuk el a japánok által kísérletekkel és azok vizsgálati eredményeivel alátámasztott fáradási szilárdságra vonatkozóan a 15 %-os hibavalószínűségre meghatározott összefüggést azzal, hogy az egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlásból számított húzófeszültség fárasztó hatását ugyan ennek az összefüggésnek megfelelően kell számításba venni.

Ehhez természetesen külön ki kell dolgozni a hőmérsékleti gradiens vagy gradiensek értékét, ha azokat az éghajlati körzetek szerint változtatni kell, és meg kell határozni a különböző gradiensek éves átlagos előfordulási időtartamának valószínűségét is.

A javasolt fáradási összefüggés

$$\sigma_{\max}/f_{t15} = 1,037 - 0,062 * \log N$$

Az összefüggést a **16. ábra** mutatja.



16. ábra Magyarországon alkalmazni javasolt fáradási összefüggés

IRODALOM

1. Pavements Recommendations for Rigid Pavements Annex 1 Commentary Trans-European North-South Motorway Project (TEM/TC/WP.137
A: S: Vesic - S. K. Saxena: Analysis of structural Behavior of AASHTO Road Test Rigid Pavements. N. C. H. R. P. Rept. 97, 1970.
2. **J.S. Sawan, M. I. Darter:** Design of Slab Thickness and Joint Spacing for jointed Plain Concrete Pavement
Workshop on Theoretical Design of Concrete Pavements 1986. Epen – The Netherlands
3. **Lorenzo Domenichini, Paola di Mascio:** Procedure for JPCP Thickness Design in Italy
2nd International Workshop on the Theoretical Design of Concrete Pavements Sigüenza – Spain 1990. October 4 – 5
4. **Michael I. Darter:** Concrete Slab VS Beam Fatigue Models
2nd International Workshop on the Theoretical Design of Concrete Pavements 1990.
5. **VEVERKA V.:** The Belgian Road Research Center's Design Procedure for Concrete Pavements
Workshop on Theoretical Design of Concrete Pavements 1986. Epen – The Netherlands
6. **Packard R. G., Tayabji S. D.:** New PCA Thickness Design Procedure for Concrete Highway and Street Pavements
3rd International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation, Prudue 1985
7. **S. IWAMA, T. FKUDA:** Design Method and Researches of Concrete Pavements in Japan
Workshop on Theoretical Design of Concrete Pavements 1986. Epen – The Netherlands
8. **Örjan Petersson:** Swedish Design Method for Jointed Concrete Pavements.
2nd International Workshop on the Theoretical Design of Concrete Pavements Sigüenza – Spain 1990. October 4 - 5
9. **V. Faraggi - C. Jofre - C. Kraemer:** Combined Effect of Traffic Loads and Thermal Gradients on Concrete Pavement Design
Workshop on Theoretical Design of Concrete Pavements 1986. Epen – The Netherlands

- 10. Zukang Yao:** Structural Design of Concrete Pavements in China
Third International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation
April 23-25, 1985 Prudue University West Lafayette, Indiana USA
- 11. H. E. van der Most – M. Leewis:** Design of Concrete Pavements
5th international Symposium on Concrete Roads Aachen 2 – 4 June 1986.
- 12. H. A. W. Cornelissen - M. Leewis:** Fatigue experiments for the Design of Plain
Concrete Pavements
Workshop on Theoretical Design of Concrete Pavements 1986. Epen – The
Netherlands
- 13. L. J. M. Houben:** Two Dimencional Finite Element analysis of Unreinforced
Concrete Pavements
2nd International Workshop on the Theoretical Design of Concrete Pavements
Sigüenza – Spain 4 – 5 October 1990

Vissza a

Noteszlapok abc-ben



Noteszlapok tematikusan



tartalomjegyzékhez