

26-2-1990-176-2-

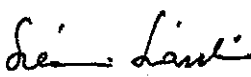
SZÉCHENYI ISTVÁN
KÖZLEKEDÉSI ÉS TÁVKÖZLÉSI MŰSZAKI FŐISKOLA
Közlekedésépítési Intézet
HÍDÉPÍTÉSI TANSZÉK

Munkaszám: 91-111-89

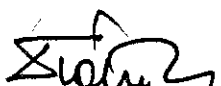
Megrendelő: KöHÉM Autópálya Igazgatóság, Bp.

Boltozatok teherbírásának megítélése

Segédlet


Dr. Szécsi László
főisk.doc.
témafelelős


Dr. Szlukovényi István
főisk.adj.


Dr. Tóth Zoltán
főisk.doc.
tanszékvezető

Győr, 1990. március

TARTALOMJEGYZÉK

1. Előzmények
2. MEXE módszer
 - 2.1. A módszer érvényessége
 - 2.2. A boltozat vizsgáلتa és felmérése
 - 2.3. Az ideális teherbírást számítása
 - 2.4. A módosító tényezők figyelembevétele
 - 2.5. A teherbírást számítása
 - 2.6. Súlykorlátozás
3. Heyman plasztikus módszere
 - 3.1. Az alapadatok felvétele
 - 3.2. A számítási kifejezések
 - 3.3. A teherbírást számítása
4. Összefoglalás

Irodalomjegyzék

- | | |
|---------------|--|
| I. Melléklet | Példák a MEXE módszer állapot-tényezőinek felvételére |
| II. Melléklet | Mintaszámítások
MEXE módszer szerint
Heyman módszer szerint
Űrlapok |

1. Előzmények

A KÖHÉM Autópálya Igazgatóság (Budapest) megbízta a Széchenyi István Közlekedési és Távközlési Műszaki Főiskola Hídépítési Tanszékét boltozatok terhelhetőségének becslésére alkalmas módszerek kiválasztásával.

Az 1989. májusban elkészített hasonló témájú tanulmányunkban a különböző számítási módszereket összehasonlítottuk. Az eredményeink alapján megbízást kaptunk a MEXE és a Heyman módszerek gyakorlat számára szükséges mélységű ismertetésére, mintaszámítások közzlésére.

A két módszer elméletileg teljesen eltérő feltételekből indul ki, és erős közelítéseket tartalmaznak.

A tévedés lehetőségének csökkentésére javasoljuk mindkét számítási módszer párhuzamos alkalmazását és az eredmények összehasonlítását.

A teherbírás becslését minden esetben alapos helyszini vizsgálattal kell kezdeni. Ekkor kell felmérni azokat az adatokat és körülményeket, melyek a számítások elvégzéséhez szükségesek.

Meg kell határozni a teherviselő és az egyéb szerkezeteken elvégzendő javításokat. A számítások eredményénél fel kell tüntetni, hogy az a meglévő, vagy az előírt javítások után elérhető állapotra vonatkozik.

Amennyiben a paraméterek a megadott intervallumokon kívül csak (pl. nyílás/magasság arány nagyobb, mint 8), vagy a két módszerrel megkapott eredmények ellentmondóak vagy értékük a tapasztalattal ellentétes, a közelítő módszerek alkalmazása nem elégséges és részletes, egyedi statikai vizsgálat szükséges (pl. számítógépes modell felállítása).

A témában részletesen elmélyedni szándékozók részére az említett tanulmányon kívül az irodalomjegyzékben megadott műveket javasoljuk.

2. MEXE módszer

A MEXE (Military Engineering Experimental Establishment) módszer Pippard rugalmas anyagmodellre feltételező számításán alapuló eljárás. A terhelés hatására keletkező húzófeszültség korlátozásától a törési kísérletek tapasztalatai alapján eltekintettek, csak a kialakuló nyomófeszültségeket korlátozták (általában $1,4 \text{ N/mm}^2$ -ben). További feltétel még, hogy a keresztmetszetben működő külpontos erő a keresztmetszet szélét a magasság negyedénél jobban ne közelítse meg.

A módszer alkalmazása során a fenti elvek alapján a boltozat fő méreteit figyelembe véve, egy ideális teherbírást (T_1) számolunk, melyet a tényleges anyagtípusoknak, alaknak, állapotnak megfelelő csökkentő tényezőkkel megszorozunk. Az így kapott megengedhető tengelyterhelés a boltozatra működő $1,05 \text{ m}$ tengelytávú ikertengely egyik tagjának terhelését jelenti. A "teoretikus" érték sok tényezővel szorozva valójában egy "empirikus" értéket ad, melynek helyességét törési kísérletek igazolták. Az angliai Transport and Road Research Laboratory kísérletsorozatában öt törésig terhelte boltozat a számított MEXE érték több mint háromszorosánál tört, tehát a MEXE módszer által nyújtott biztonság elegendő mértékű. A módszer alkalmazhatóságát bizonyítja, hogy az angliai Közlekedési Minisztérium 1984-ben kiadványt jelentetett meg a módszer elterjesztésére.

Az ikertengely egyik tagjának ismeretében a megengedett terhelés tetszőleges tengelyelrendezésre (pl. egyes, hármas tengelyre) átszámolható. Az átszámítás egyszerűsített alapfeltevése azon alapul, hogy az ívnegyedben lévő keresztmetszet nyomatóki hatásábrája hasonló az ív fél nyílásának megfelelő támaszközü kéttámaszú tartó középkeresztmetszetének nyomatóki hatásábrájához.

A tengelyterhelések ismeretében a boltozatra elrendelhető össz-súlykorlátozás megadható. A módszer kidolgozói a tényleges járműveket (Construction and Use Regulations terheit) vették figyelembe, így a járműtípusok a nemzetközi forgalomban résztvevő típusokkal megegyeznek.

2.1. A módszer érvényessége

A módszerrel csak a dongaboltozatok teherbírását lehet becsülni. Az alapok, szárnyfalak, homlokfalak stb. teherbírásra gyakorolt hatásával később, a 2.2. pontban foglalkozunk.

A módszer a teherbírás becslésére 18 m boltozatnyílásig alkalmazható, bár 12 m feletti nyílások esetén a megbízhatóság csökken. Lapos íveknél (nyílás/magasság viszony nagyobb mint 8) és eredeti alakjukból feltételezhetően kitért íveknél a módszer nem alkalmazható.

A módszer egynyílású boltozatok megoldására alkalmas.

Ferde boltozatok esetén a nyílást a teherviselés síkjában értelmezzük, 80°-os ferdeségig ez merőlegesen vehető fel. Ennél nagyobb ferdeség esetén a pályabeosztás, a járműteher elhelyezhetősége, a terhelés szétterülése függvényében kell a teherviselés síkját meghatározni, melyhez tartozó nyílás így a ferde- és a merőleges nyílás között lesz.

2.2. A boltozat vizsgálata és felmérése

A boltozat teherbírásának megítélése nem történhet alapos helyszíni vizsgálat és mérnöki elemző munka nélkül.

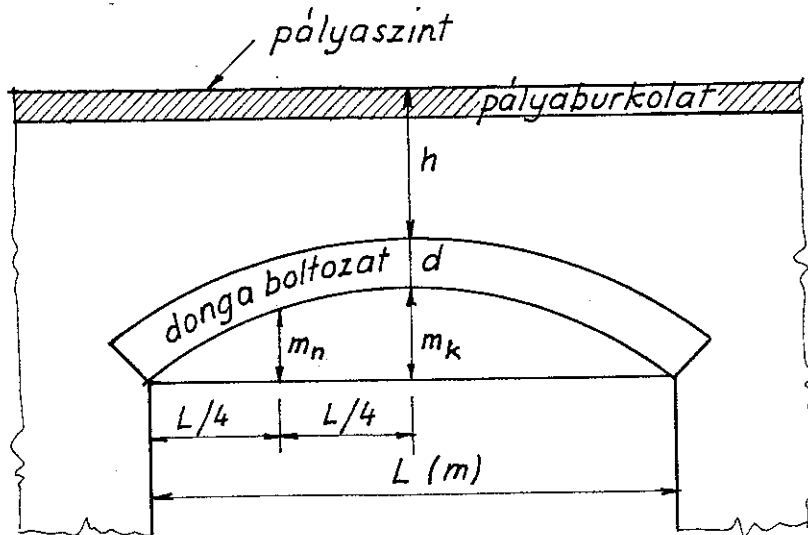
A vizsgálat megkezdése előtt szerezzük be a korábbi dokumentumokat; megvalósulási terveket, talajmechanikai adatokat, korábbi vizsgálati eredményeket, az esetleges átépítés, erősítés terveit, közművezetékek terveit.

A teherbírásszámítás kiinduló adatait a geometriai méretek felvételével kapjuk. Szükségünk van az 1. ábra szerinti méretekre, ahol

L (m)	- nyílás, ferde hídnál a teherviselés síkjában mérve
m_k (m)	- a boltozat magassága középen
m_n (m)	- a boltozat magassága negyedben
d (m)	- a boltozat vastagsága a záradéknál
h (m)	- a feltöltés és burkolat átlagos vastagsága a középkeresztmetszetben.

A méretek megállapítására szükség esetén feltárásokat, fúrásokat kell végezni.

Meg kell állapítani a boltozaton átvezetett út pályabeosztását.



1. ábra A boltozat méretei

A teherbírás megállapításához szükséges vizsgálat tárgyát képezik:

- 1/ A kő- vagy téglafalazat fajtája, állapota és a károsodások helyzete és kiterjedése,
- 2/ A fugák szélessége és a habarcs-hiány mélysége
- 3/ A habarcs állapota
- 4/ A repedések jelenléte, szélességük, hosszuk, helyzetük (különleges figyelmet kell fordítani a boltozatot különálló részekre szabdaló repedésekre és az esetleges erősítés elválására)
- 5/ Kimozdult elemek elhelyezkedése (különleges figyelmet kell fordítani a záradék közelében lévő kövek sugárirányú elmozdulására)
- 6/ A boltozat deformációja
- 7/ Utólagos megerősítések
- 8/ A kocsipálya és a gyalogjárda felülete

A felmérések során megtevéseztő lehet, hogy

- 1/ A boltozat vastagsága a feltöltés alatt nem egyezik meg a homlokkal alatt látható vastagsággal.
- 2/ Több hidat megerősítettek oly módon, hogy a feltöltést betonral helyettesítették.
- 3/ A közművezetékek áttörései meggyengítették a boltozatot.

A homlokfalakat és szárnyfalakat meg kell vizsgálni a következő szempontok szerint:

- 1/ Kihajlás, kifordulás, elcsúszás tapasztalható-e
- 2/ A boltozat szélének lerepedése és oldalirányú elmozdulása tapasztalható-e (lásd 2. ábra)
- 3/ Tönkremenetelek, hiányok megléte
- 4/ Járműütközési nyomok megléte
- 5/ Repedések, leválások megléte
- 6/ Kövek, téglák kilazulása.

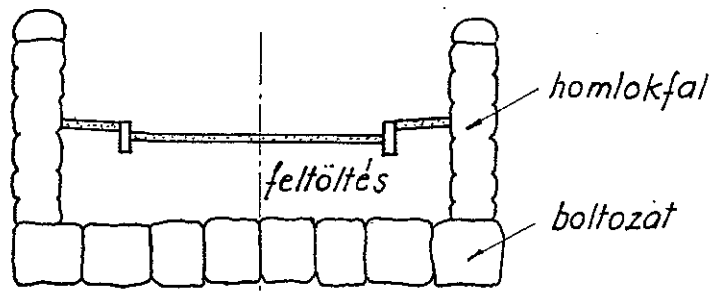
A felmenő falakon minden elmozdulásra utaló nyomot meg kell vizsgálni. A növényzet elburjánzása a boltozat állapotát veszélyeztetheti. A feltöltés süllyedése, anyagának kifolyása szintén vizsgálandó.

A teherbírást lényegesen befolyásolja, ha hátfalazat készült. (3. ábra) A boltozaton megjelenő minden vízszivárgás okát fel kell deríteni és meg kell szüntetni. A vízelvezetés hiányosságai súlyos következményekkel járhatnak, mivel a töltés átázását, tehát súlynövekedést okozhatnak, ezzel nőhet a homlokfalakra jutó földnyomás értéke is. Veszélyes lehet a vízbehatolás következményeképpen fellépő kimosás és kifagyás.

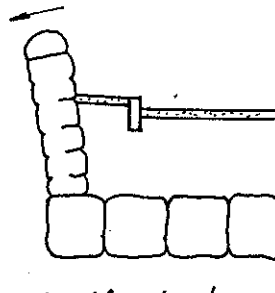
Az alapok víz alatti részeit is meg kell vizsgálni, akár búvárok segítségével is.

A vizsgálati megállapításokat a teherbírás számításánál a különböző módosító tényezőkön keresztül kell figyelembe venni. Azokat a hatásokat, melyekre külön tényező nincs (pl. hátfalazat megléte) az állapottényező értékebe kell belefoglalni.

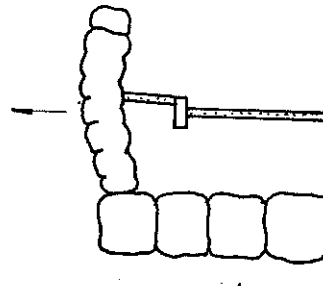
A boltozaton kívüli elemek (mellvédfal, szárnyfal) helyreállításáról, stabilitásáról gondoskodni kell.



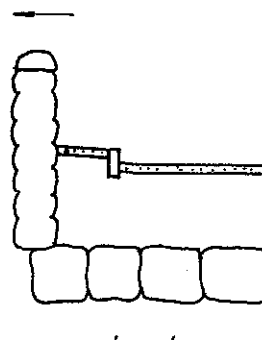
Tipikus boltozat keresztmetszete



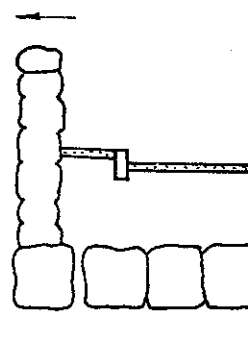
1. kifordulás



2. kihajlás

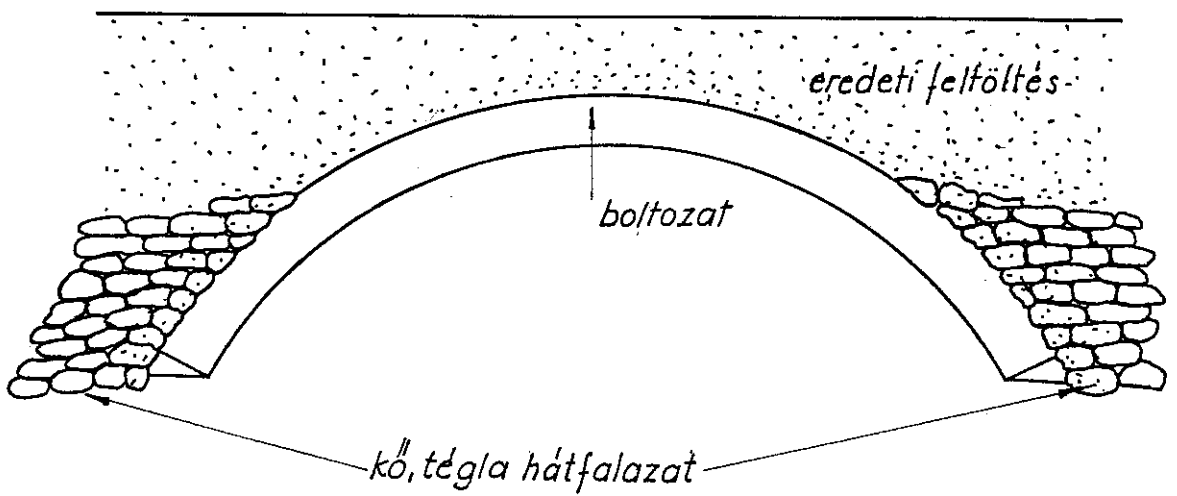


3. elcsúszás



4. boltozat szélének repedése

2. ábra A homlokfal hibái



3. ábra Boltozat hátfalazat

2.3. Az ideális teherbírás számítása

A boltozatról először azt feltételezzük, hogy

- alakja parabola
- nyílás/magasság (L/m_k) aránya négygyel egyenlő
- anyaga jó minőségben megépített téglá - vagy kő falazat
- fugái jól kitöltöttek
- repedésmentes
- alapozása kifogástalan

Az ilyen boltozat ideális teherbírása

$$T_i = \frac{7400 (d + h)^2}{L^{1.3}} \quad (\text{kN})$$

(Ha T_i értéke nem esik 30-700 kN közé, a módszer nem alkalmazható)

2.4. A módosító tényezők figyelembevétele

A tényleges boltozatnak az ideális boltozattól való eltérését módosító, csökkentő tényezőkön keresztül vesszük figyelembe.

2.4.1. Nyílás/magasság tényező (f_{ny})

Ha a nyílás/magasság arány (L/m_k) nagyobb mint 4, akkor a f_{ny} tényezővel az ideális teherbírást csökkenteni kell. Ahol

$$f_{ny} = 1,83 - 0,262 \frac{L}{m_k} + 0,0138 \left(\frac{L}{m_k}\right)^2$$

($L/m_k > 8$ esetében, lapos boltozatnál ne alkalmazzuk a módszert).

2.4.2. Alaktényező (f_a)

Ha a boltozat alakja nem parabola (vagyis a negyedben mérhető magasság, m_n nem egyenlő $0,75 m_k$ -el), akkor a kedvezőtlenebb alakot, alaktényezővel f_a vesszük figyelembe

$$f_a = 2,3 \left(\frac{m_k - m_n}{m_k}\right)^{0.6}$$

A tényező értéke nem lehet egynél nagyobb.

2.4.3. Anyagtényező (f_m)

Az anyagtényező összetett tényező. A boltozat anyagának (f_b) és a feltöltés anyagának (f_f) megfelelő tényezők, a boltozat és a feltöltés vastagságának megfelelő súlyozott átlagából nyerhetjük.

$$f_m = \frac{f_b \cdot d + f_f \cdot h}{d + h}$$

1. táblázat

A boltozat anyagától függő tényező értékei

A boltozat anyaga	f_b
Szabálytalan, vagy rakott bazalt vagy gránitkő boltozat; minden nagy méretű, rétegben rakott terméskő (mészkő kivételével)	1,5
Betonból* vagy nagyszilárdságú téglából, vagy hasonló méretű kőfalazatból (mészkő kivételével) készített boltozat	1,2
Szabálytalan vagy rakott mészkő boltozatok, jó állapotú szabálytalan kőfalazatból és közönséges téglából készített boltozatok	1,0
Boltozat állapota valamilyen szempontból rossz (kövek repedezettek, hámlanak). Helyi csekély méretű károsodások megengedettek.	0,7

Megjegyzés: * A beton boltozatok fiatalabbak és így valószínű, hogy fellelhető tervek alapján határozható meg a teherbírásuk.

2. táblázat

A feltöltés anyagától függő tényező értékei

A feltöltés anyaga	f_f
beton *	1,0
stabilizált anyag (agyagtartalmú stabilizációt nem soroljuk ide)	0,9
jól tömörített anyagok * *	0,7
a kocsipálya nyomvályusodásából felismerhető gyenge minőségű anyag	0,5

Megjegyzések:

- * A betonnak mint töltésanyagnak kisebb a tényezője, mint a boltozati anyagnak, mivel a beton feltöltést nem tekintjük együttdolgozónak.
- * * Ha az útfelület állapotából nem lehet következtetni súlyos hibákra, általában ez az érték alkalmazandó. Ha ennél nagyobb értékek alkalmazása kívánatos, a feltöltés minőségéről feltárással kell meggyőződni.

Az anyagtényezőbe az olyan, helyszini felmérés alapján megállapítható hatások is beépítendőek, mint pl.

- állandóan nedves, párás szerkezet
- reaktív vegyszerek jelenléte
- a feltöltés kiüregelődése
- pontos, gondos alapozás
- formatartó nagyszilárdságú téglák
- egyenletes és vékony fugák
- eredeti tervek a boltozat gondos alapozásáról és a helyes tervezésről tanúskodnak.

Az anyagtényező végértéke essen 0,6 - 1,2 közé.

2.4.4. Kapcsolati tényező (f_t)

Ezzel a kapcsolati tényezővel a fugák szélességét (f_{sz}), a habarcs állapotát (f_h) és a hézagok kitöltöttségét (f_k) vesszük figyelembe.

A kapcsolati tényező az alábbiak szorzata

$$f_t = f_{sz} \cdot f_h \cdot f_k$$

3.táblázat

A kapcsolat szélességi tényező értékei

		f_{sz}
fugaszélesség	6 mm alatt	1
fugaszélesség	6 mm - 12 mm	0,9
fugaszélesség	12 mm - 15 mm	0,8
fugaszélesség	> 15 mm	vizsgáló mér- nök elbírálása alapján

4.táblázat

A habarcs állapotától függő tényező értékei

	f_h
jó állapotú habarcs	1,0
laza, morzsolható habarcs	0,9

5.táblázat

A fuga kitöltöttségtől függő tényező

	f_k
jól kitöltött kapcsolatok	1
max. 12 mm mélységű kifugázási hibák	0,9*
12 mm-től a boltozatvastagság tizedéig terjedő fugázási hiány	0,8*
a vastagság tizedén túlmenő mélységű fugázási habarcs hiány	vizsgáló mér- nök elbírálása alapján

Megjegyzés: * A csökkentés a boltozatvastagság csökkentésével is figyelembe vehető.

A kapcsolati tényező végértéke essen 0,5 - 1,0 közé.

2.4.5. Az állapot figyelembevétele (f_c)

Az állapot megítélése (repedések, deformációk alapján) az előbbi tényezőknél nehezebben számszerűsíthető. Az állapot-tényező (f_c) értékét 0 és 1 között az általános állapot alapján kell felvenni (nem elfelejtkezve arról, hogy a hézagolás, anyagtulajdonságok már figyelembevételekre kerültek). Viszonylag nagy feltöltés magasság mellett is károsodott boltozat esetén az állapot-tényezőt a szokásosnál kisebbre kell választani. Az állapot-tényező objektív megválasztását a fotomelléklet példákkal segíti. Az állapot-tényezők esetenként kisebb javítások elvégzésével megnövelhetők, a boltozat számszerűsített teherbírása így fokozható.

A repedések között különbséget kell tenni a régi, esetleg az építés után hamarosan jelentkező repedések és az újabb, éles határvonalú, esetleg törmeléket tartalmazó, veszélyesebb repedések között. A repedéseket és a fugák kitöltetlenségi hibáit nem szabad összetéveszteni.

A hibák közül lehetnek olyanok is, melyek a boltozat teherbírását nem veszélyeztetik, de a használhatóságot befolyásolják (lásd 2.ábra).

Egyes típushibák befolyása az állapot-tényezőre. (Több hiba esetén a tényezőket nem kell összeszorozni, hanem a hibák súlyossága szerint kell mérlegelni, a legsúlyosabb hibát mértékadónak tekintve.)

- a/ Az alap egyenlőtlen süllyedéséből származó, gyűrűirányú repedés. 3 mm megnyílás felett veszélyes, mert a dongaboltozat független részekre törhet. Ha az a benyomás, hogy a boltozat 1 m-nél kisebb részekre akar széttörni, akkor az állapot-tényező javasolt értéke 0,4 vagy az alatti legyen, egyébként 0,4 - 0,6.
- b/ A boltozat oldalirányú repedései vagy maradó deformációja, melyeket a boltozat részleges hibái vagy az alapok elmozdulása okoz. A leírt hiba gyakran a homlokfal megdőlésével jár, melyet könnyebb észrevenni. Az állapot-tényező javasolt értékei: 0,6 - 0,8.

- c/ Az átlós repedés általában a boltvállnál, a boltozat oldalánál indul és a záradék közepig fut. Az alapok egyenlőtlen süllyedéséből származnak. Az állapot-tényező javasolt értéke: 0,3 - 0,7.
- d/ A homlokfal ívnegyed közeli repedését a boltozat középső felének túlzott alakváltozása okozza, melyet a homlokfal nem tudott követni. Az állapot-tényező javasolt értéke: 0,8.

A boltozat teherbírását nem, de használhatóságát veszélyeztető hibatípusok:

- a/ A boltozat szélénél lévő gyűrűsírányú repedés azt mutatja, hogy a homlokfal elvált a boltozattól, esetleg kihajlik. A jelenség oka a feltöltés oldalnyomása. A hiba jelentősége a kocsipálya és a homlokfal közelségén múlik.
- b/ Az előbbiekhöz hasonló jelenség a szárnyfalon is megfigyelhető.
- c/ Többnyílású boltozatokon a repedések és deformációk keletkezhetnek a pillérek hibáiból is.

Ha az állapot-tényező kisebb, mint 0,4 - akkor azonnali beavatkozás szükséges a híd helyreállítására.

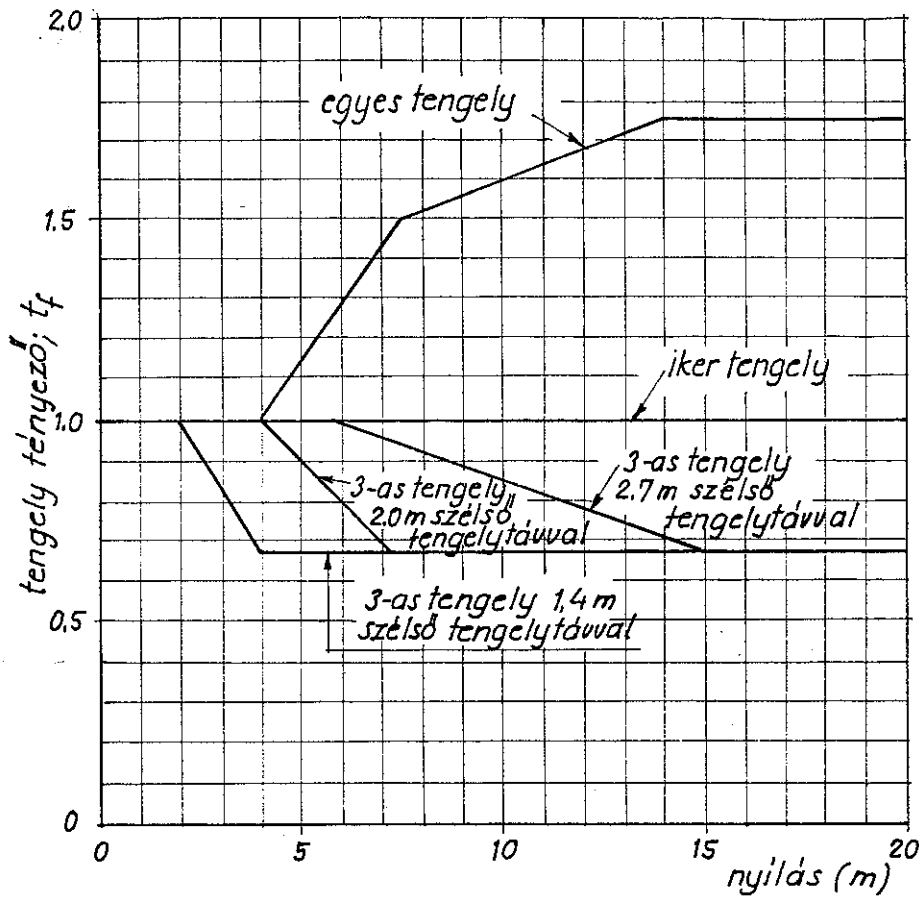
A felsorolt hibákat a fotómellékletben mutatjuk be.

2.5. A teherbírás kiszámítása

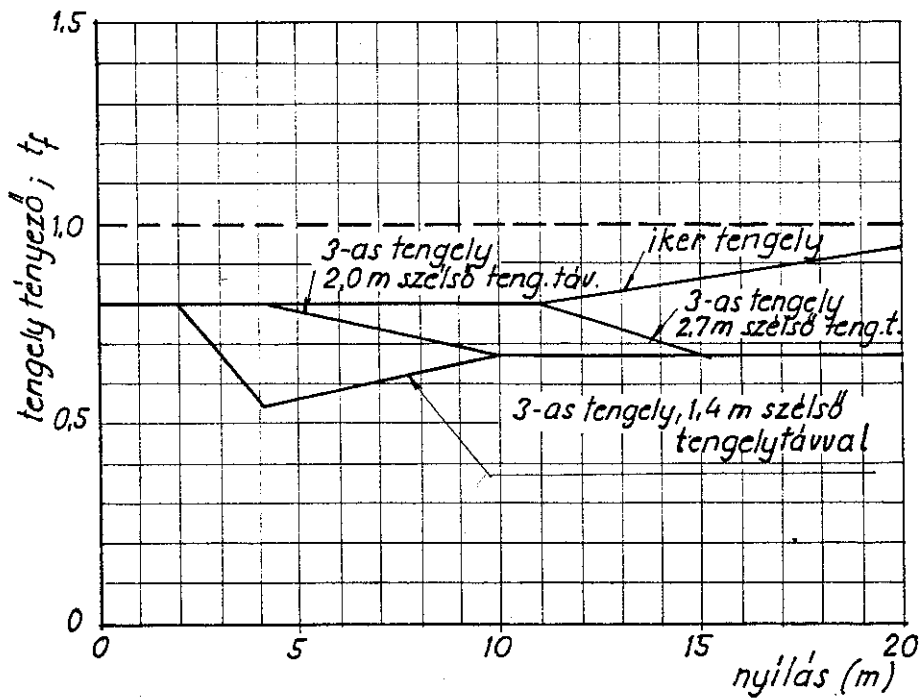
Az ideális teherbírást (T_i) a módosító tényezőkkel megszorozva, kapjuk a módosított teherbírást (T_M) .

$$T_M = f_{ny} \cdot f_a \cdot f_m \cdot f_t \cdot f_c \cdot T_i = f_i T_i \quad \text{ahol } f_i \text{ az összes tényező szorzata.}$$

A T_M kerekítetlen értékét a 4. ábrából kivethető tengelytényezővel (t_f) kell szorozni, hogy az ikertengelyre vonatkozó tengelyterhelést egyes vagy hármass tengelyre vonatkozólag átkonvertálhassuk. Általános esetben a 4/a ábra használandó. Ha a boltoza-



a, Minden tengely felfekszik



b, Nem minden tengely fekszik fel

4. ábra

ton az út vonalvezetése vagy felülete olyan, hogy feltételezhető a jármű többes tengelyen lévő egyes kerekeinek ideiglenes felemelkedése - így súlyuknak a többi kerékre való átrendeződése - akkor a kisebb értéket adó 4/b ábra használható.

A kiszámított T_M tengelyterhelés iker vagy hármastengely esetén is csak egy tengely terhét jelenti. (pl. ikertengely mindkét tagja felveheti a számított értéket)

2.6. Súlykorlátozás

A 2.5. pont szerinti megengedett tengelyterhelés 5 kN-ra kerekítendő és ennek függvényében a 6. táblázat alapján választható ki az áthaladható gépkocsi összsúlya. Ha a megengedett tengelyterhelés 105 kN vagy 100 kN (egyes és iker tengely esetén) feletti, a boltozott hídon súlykorlátozást nem kell előírni.

Öt tengelyes, 325 kN-nál nehezebb járművek esetén elegendő csak az ikertengelyes elrendezést ellenőrizni: ha ez megfelel, akkor a hármastengely is meg fog felelni.

A korlátozás esetén - amennyiben szükséges - a tiltó táblát a korlátozási érték feltüntetésével - a híd előtt ki kell helyezni. Legegyszerűbb a tengelysúlykorlátozás előírása, mivel ez a közvetlenül számított érték. (A közelítő számítás azt feltételezi, hogy egy tengely vagy összetett tengely működik csak a hídon.)

Összsúly korlátozás csak 165 kN (16,5 t) megengedhető összsúly alatt javasolható, bár ezen korlátozás alól a kettőnél több tengelyes járművek egyedi engedéllyel felmentést kaphatnak, mivel az összsúlykorlátozást mindig a legkedvezőtlenebb két tengelyes jármű figyelembevételével kell megállapítani.

6. táblázat

Összsúly korlátozás a tengelyterhelés függvényében

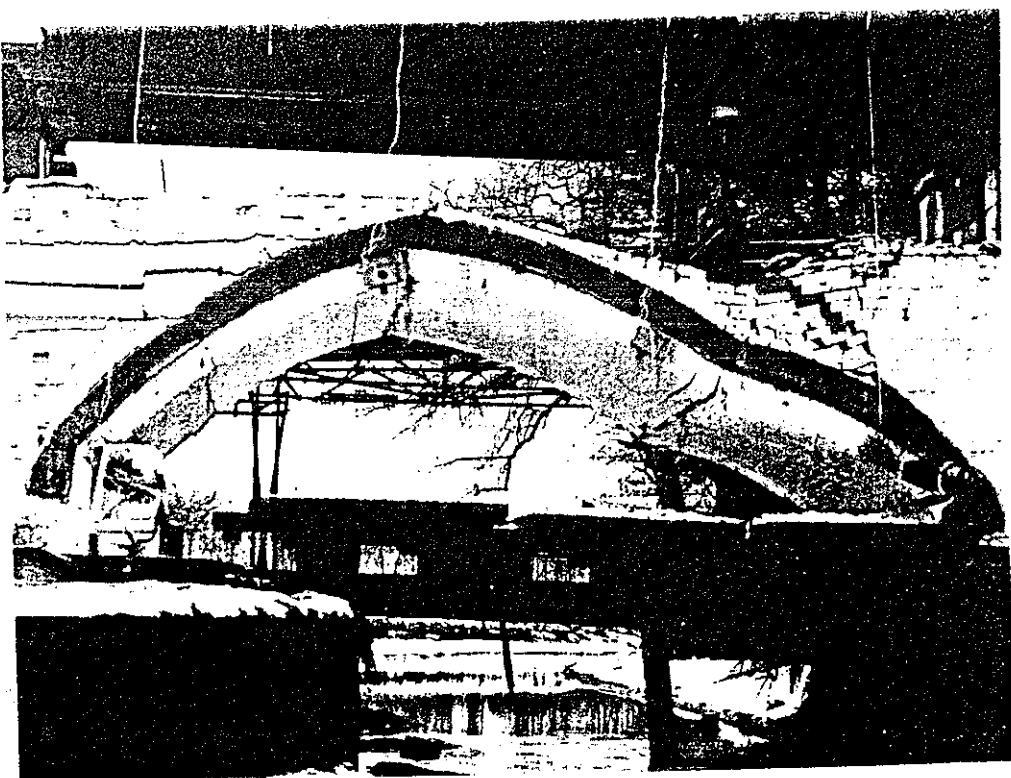
Megengedett tengelyterhelés kN		Összsúly kN	Jármű típusa
egyes tengely kN	iker tengely kN		
105	100	380	5 tengelyes
100	95	325	4 tengelyes
100	90	245	3 tengelyes
90	80	200	
70	60	160	
100	-	165	2 tengelyes
90	-	125	
70	-	100	
55	-	75	könnyű teher- gépkocsi
20	-	30	személyautó

3. Heyman plasztikus módszere

Heyman abból a megállapításból indul ki, hogy a boltozaton nem érdemes rugalmas módszerrel számításokat végezni, hiszen az eredetileg statikailag határozatlan, befogott boltozat a repedések, károsodások hatására bizonytalan erőjátékú szerkezetté válik.

Heyman szerint a boltozatnál a törési határhelyzet állapota a jól megfogható, kezelhető állapot. A töréshez biztos, hogy négy csuklónak kell kialakulnia. (lásd 5.ábra)

A törést okozó terhet biztonsági tényezővel (2-3 között) redukálva kapjuk a boltozat megengedhető terhelését. A módszer csak a 2.1. pontban leírt esetekben, a 2.2. pontban leírt vizsgálatok elvégzése után alkalmazható. Heyman a MEXE módszer és Pippard elméletének hibáját abban is megjelöli, hogy paraméterül a $(h+d)$ mennyiséget veszi fel, így a boltozat vastagsága (d) elkülönítve nem jelenik meg a számításban.



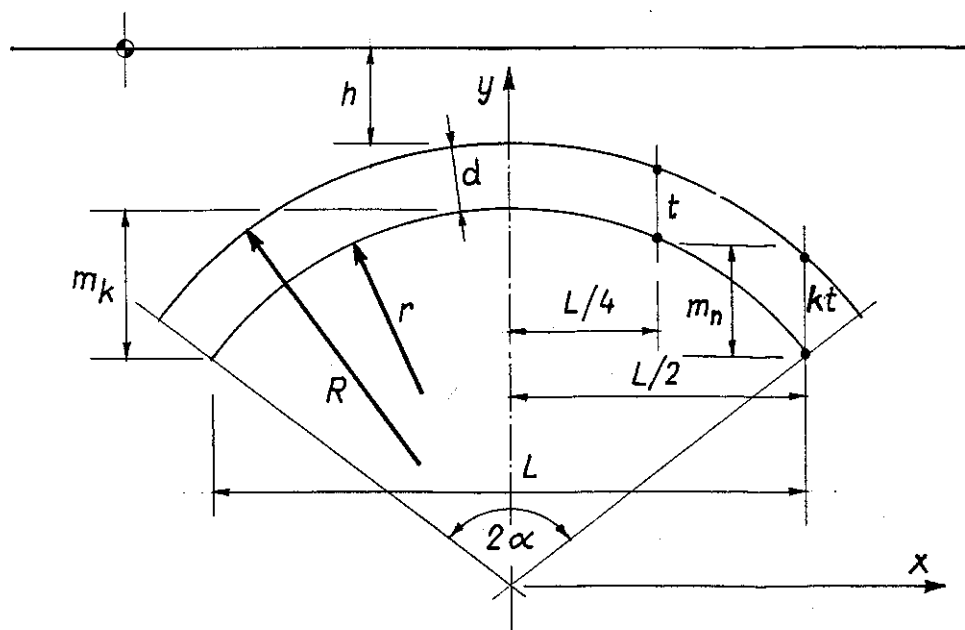
5. ábra

3.1. Az alapadatok felvétele

A Heyman módszer alkalmazásához a következő adatokat mérjük fel a helyszínen

- a boltozat anyaga
- alakja
- szélessége b
- nyílása L
- intradosz magassága m_K
- magasság negyedben m_n
- vastagsága d
- vastagsága támasznál kt
- vastagsága negyedben t
- a feltöltés magassága h
- a boltozat és a feltöltés sűrűsége γ

A jelölések értelmezését lásd a 6. ábrán.

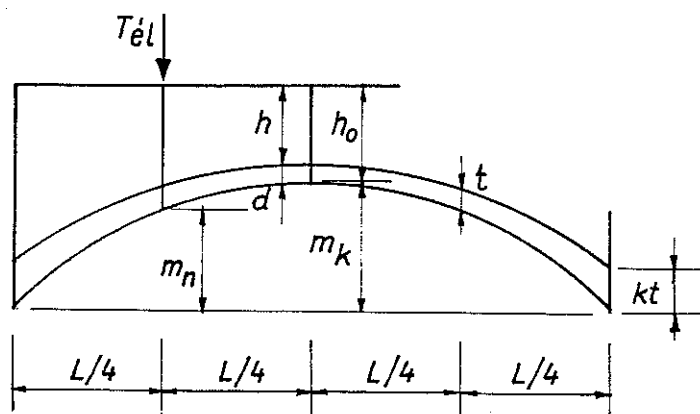


6. ábra

Amennyiben egyes adatok nem mérhetőek, akkor lehetséges azokat a többi adatból számítással pótolni. A mintaszámítások között megadjuk a körív feltételezésével kapott számítási képleteket. Számításainkban lehetőleg mért adatokat használjunk. A durva hibák kiszűrésére azonban helyes, ha egyes értékeket számolással ellenőrizzük.

3.2. A számítási kifejezések

Az érterhet Heyman a negyedpontban helyezi el. A 7. ábra szerint jelöli a boltozat méreteit és a működő erőket. A pályát vízszintesnek feltételezi. A feltöltésnek nem tulajdonít szilárdságot és teherelosztó képességet. A boltozat és a feltöltés anyaga egyforma sűrűségű (γ). A méreteket az ívmagassághoz viszonyítva, a következő paramétereket kapjuk:



$$\alpha = m_n / m_k$$

$$\beta = (h+d) / m_k$$

$$\epsilon = t / m_k$$

$$k = k_f / t$$

7. ábra

Egy méter széles boltozatra működő élteher intenzitása a következő képlettel számítható:

$$T_{él} = \frac{\gamma L m_k}{6} p \text{ (kN/m,)}$$

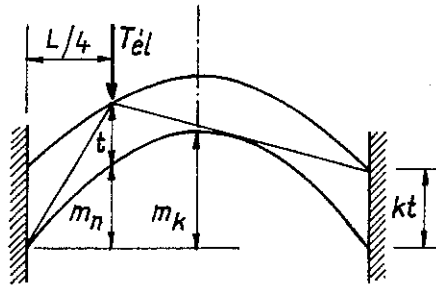
ahol p paraméter számítása az alábbi képlettel történik:

$$p = \frac{(1+3\beta - \alpha) \cdot [\alpha + (1-k/4)\epsilon] - (6+9\beta - 5\alpha) [(1-\alpha) - (1+k/4) \cdot \epsilon]}{(3-2\alpha) - (2+k) \cdot \epsilon}$$

Ha a nevező nulla, vagyis

$$(3-2\alpha) = (2+k) \cdot \epsilon$$

akkor a törőteher elvileg végtelen nagy lehet. Ez az állapot a 8. ábrának felel meg, amikor a támaszvonal nem hagyja el a boltozat kontúrját.



8. ábra

A boltozat megtámasztásánál lévő függőleges síkban mért vastagság (kt) és a negyedpontban mért függőleges vastagság (t) arányát (k) egységnek választva a törést okozó élteher intenzitása csak α , β és ϵ paraméterekből is meghatározható. Ebben az esetben használhatjuk a 7. táblázatot a p paraméter értékének megállapítására. A $k = 1$ felvétele - elfogadható mértékben - a biztonság javára szolgál és megengedhető közelítés, hiszen a törés kialakulásához szükséges négy csukló közül három független a k értékétől. A törés elleni biztonsági tényező értéket Heyman az állapot függvényében 2 és 3 között javasolja felvenni.

Az említett táblázatot a következőkben közöljük. A p értékek β lineáris interpolálásával határozhatók meg.

Próbaszámításaink szerint magyarországi boltzatokon k értéke lényegesen eltér egytől, ezért a táblázat alkalmazása mellett a képlettel való kontrollt is javasoljuk.

p értékei $k = 1$ esetén Heyman szerint

7. táblázat

ϵ	$\alpha = 0,60$		$\alpha = 0,65$		$\alpha = 0,68$	
	$\beta = 0$	$\beta = 1$	$\beta = 0$	$\beta = 1$	$\beta = 0$	$\beta = 1$
0,04						
0,06						
0,08					- 0,24	- 0,07
0,10			- 0,26	- 0,15	- 0,20	0,18
0,12			- 0,22	0,10	- 0,15	0,46
0,14			- 0,17	0,37	- 0,10	0,76
0,16	- 0,24	0,04	- 0,12	0,67	- 0,05	1,09
0,18	- 0,18	0,32	- 0,06	1,00	0,01	1,46
0,20	- 0,13	0,62	0,00	1,37	0,08	1,87
0,22	- 0,06	0,97	0,08	1,78	0,16	2,33
0,24	0,01	1,34	0,16	2,24	0,24	2,85
0,26	0,09	1,77	0,25	2,76	0,34	3,45
0,28	0,18	2,24	0,35	3,35	0,45	4,13
0,30	0,28	0,78	0,47	4,03	0,58	4,92

ϵ	$\alpha = 0,70$		$\alpha = 0,72$		$\alpha = 0,74$	
	$\beta = 0$	$\beta = 1$	$\beta = 0$	$\beta = 1$	$\beta = 0$	$\beta = 1$
0,04			- 0,24	- 0,11	- 0,20	0,10
0,06	- 0,24	- 0,09	- 0,20	0,12	- 0,17	0,35
0,08	- 0,20	0,15	- 0,16	0,38	- 0,13	0,62
0,10	- 0,16	0,42	- 0,12	0,67	- 0,08	0,93
0,12	- 0,11	0,71	- 0,07	0,98	- 0,03	1,26
0,14	- 0,06	1,03	- 0,02	1,32	0,02	1,63
0,16	0,00	1,39	0,04	1,71	0,08	2,04
0,18	0,06	1,79	0,11	2,13	0,15	2,51
0,20	0,13	2,23	0,18	2,62	0,23	3,03
0,22	0,21	2,73	0,26	3,16	0,31	3,63
0,24	0,30	3,30	0,36	3,79	0,41	4,31
0,26	0,40	3,95	0,47	4,51	0,53	5,11
0,28	0,52	4,71	0,59	5,34	0,67	6,05
0,30	0,66	5,59	0,75	6,34	0,83	7,15

7.táblázat folytatása

ε	$\alpha = 0,76$		$\alpha = 0,78$		$\alpha = 0,80$	
	$\beta = 0$	$\beta = 1$	$\beta = 0$	$\beta = 1$	$\beta = 0$	$\beta = 1$
0,04	- 0,17	0,32	- 0,14	0,55	- 0,10	0,79
0,06	- 0,13	0,58	- 0,10	0,83	- 0,07	1,09
0,08	- 0,09	0,88	- 0,06	1,14	- 0,02	1,42
0,10	- 0,04	1,20	- 0,01	1,49	0,02	1,80
0,12	0,01	1,56	0,04	1,87	0,07	2,21
0,14	0,06	1,96	0,10	2,30	0,13	2,67
0,16	0,12	2,40	0,16	2,79	0,20	3,20
0,18	0,19	2,91	0,24	3,34	0,28	3,80
0,20	0,27	3,48	0,32	3,96	0,36	4,49
0,22	0,36	4,13	0,41	4,68	0,46	5,29
0,24	0,47	4,89	0,53	5,53	0,58	6,23
0,26	0,59	5,78	0,66	6,52	0,72	7,35
0,28	0,74	6,84	0,82	7,72	0,90	8,72
0,30	0,92	8,11	1,01	9,18	1,11	10,41

ε	$\alpha = 0,82$		$\alpha = 0,85$		$\alpha = 0,90$	
	$\beta = 0$	$\beta = 1$	$\beta = 0$	$\beta = 1$	$\beta = 0$	$\beta = 1$
0,04	- 0,08	1,04	- 0,04	1,44	0,02	2,18
0,06	- 0,04	1,36	0,00	1,80	0,06	2,61
0,08	0,01	1,72	0,05	2,20	0,10	3,10
0,10	0,05	2,12	0,09	2,64	0,15	3,65
0,12	0,11	2,57	0,15	3,15	0,21	4,28
0,14	0,17	3,07	0,21	3,72	0,27	5,00
0,16	0,24	3,64	0,28	4,38	0,35	5,85
0,18	0,31	4,30	0,37	5,14	0,44	6,85
0,20	0,40	5,06	0,46	6,04	0,55	8,05
0,22	0,51	5,95	0,58	7,10	0,68	9,52
0,24	0,64	7,01	0,72	8,37	0,85	11,35
0,26	0,79	8,29	0,89	9,95	1,06	13,71
0,28	0,98	9,86	1,11	11,93	1,35	16,85
0,30	1,21	11,84	1,39	14,51	1,75	21,25

3.3. A teherbírás számítása

A törést okozó élteher biztonsági tényezővel csökkentett értékéből tengelyterhelést úgy kapunk, hogy a forgalmi sáv szélességével szorozzuk. A figyelembe vett forgalmi sáv szélessége ne haladja meg a $b = 3,0$ m-t, mivel Heyman az elméletében a feltöltés anyagának teherelosztó tulajdonságot nem tulajdonít.

Az egyes tengely megengedett értékéből a 4.a. ábra alkalmazásával (t_f tényezővel most osztunk!) megkapjuk a 2.5. pont szerinti iker tengely egyik tengelyére vonatkozó módosított teherbírást (T_M) és a továbbiakban a 2.6. pont szerint kell eljárni, MEXE módszer súlykorlátozásra vonatkozó táblázatát lehet használni. (6.táblázat)

4. Összefoglalás

Kis nyílású boltozatok teherbírásának becslésére a rugalmas elméleti alapon álló MEXE és a plasztikus elméleti alapon álló Heyman módszert mutattuk be. Mindegyik módszerrel két-két boltozatot végigszámolva, a gyakorlati alkalmazást kívántuk elősegíteni.

A próbaszámítások során azonban többször találkoztunk olyan esetekkel, hogy a paraméterek a kívánt tartományon kívül estek, a számítások nem hoztak elfogadható eredményt. Tudatában kell lennünk, hogy a közelítő módszerek nem minden esetben pótolják a részletes elemzést. A SZIKTMF Hídépítési Tanszékén elkészítettünk egy, a differencia módszeren alapuló számítógépes programot, mellyel a rugalmas modellen ébredő feszültségek tanulmányozhatók.

(Például lásd: következő oldalon a Preston híd feszültségeloszlása)

A részletes elemzést javasoljuk akkor is, ha a boltozaton olyan hibákat észlelünk, melyek nem tipikusak, vagy ha az erősítés lehetőségeit kívánjuk vizsgálni.

A MEXE módszer alkalmazása is gyakorlott hídmérnököket igényel a helyszíni állapotfelvétel egységes kezelése érdekében.

BOLTOZAT VIZSGALATA

Szelsoszal feszultsegek kimutatasa
az iv 18 -adaiban, 1 m ivszelesseg eseten

A hid helye: Preston
A helyettesito korivtarto
sugara: 2.868 m
kozponti szoge: 129.1
vastagsaga:
ivvallnal: .36 m
zaradaknal: .36 m
szelessege: 1 m

teherkombinacio

a földfeltoltes magassaga : .38 m
a földfeltoltes surusege 22 kN/m3
a boltozat surusege 23 kN/m3
az egyenletesen megoszlo teher intenzitasa: 0 kN/m2
a feloldali megoszlo teher intenzitasa: 0 kN/m2
elterhek szama 1 db
1 elteher
intenzitas 123 kN/m
helye x .86 m
szelessege .5 m

Osszesített igénybevételek				Feszultsegek		Kulpontossag
normalero nyomatek nyiroero also szal				felso szal	nyiro	
kN	kNm	kN	N/mm2	N/mm2	N/mm2	m
0	-181.185	27.411	-58.339	.765	-1.772	-.151
1	-160.719	9.843	-41.451	0.	-.902	-.061
2	-144.188	-2.351	-28.018	-.509	-.291	.016
3	-131.536	-10.273	-17.209	-.841	.110	.078
4	-122.642	-14.709	-8.168	-1.021	.340	.119
5	-117.346	-16.139	-.091	-1.073	.421	.137
6	-115.478	-14.774	7.710	-1.004	.363	.127
7	-116.882	-10.602	15.776	-.815	.166	.090
8	-121.449	-3.446	24.501	-.496	-.177	.028
9	-129.136	6.989	34.164	-.035	-.682	-.054
10	-142.502	21.084	25.066	.580	-1.371	-.147
11	-153.857	24.988	-.686	.729	-1.584	-.162
12	-163.401	20.591	-20.504	.499	-1.407	-.126
13	-171.522	10.265	-33.512	0.	-.951	-.059
14	-172.320	-3.471	-30.967	-.639	-.317	.020
15	-171.453	-11.970	-16.319	-1.030	.077	.069
16	-175.586	-15.188	-1.046	-1.190	.215	.086
17	-184.770	-12.722	15.857	-1.102	.075	.068
18	-199.000	-3.802	35.365	-.728	-.376	.019

IRODALOMJEGYZÉK

- Szécsi L.-Szlukovényi I.: Boltozatok teherbírásának megítélése
SZIKTMF, 1989. tanulmány
- Bölcskei: Beton-vasbeton- és feszítettbeton hidak
Tankönyvkiadó, Budapest, 1968.
- Palotás: Mérnöki kézikönyv II.kötet
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
- Statikus tervezők kézikönyve
Budapest, 1954.
- Koncz-Ruzicska: Táblázatok tartószerkezetek méretezéséhez
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.
- Palotás: Mérnöki kézikönyv III.kötet
Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1959.
- Márkus: Körívtartók számítása differencia módszerrel
MTI M-36/1982.
- Heyman: The estimation of the strength of masonry
arches Proc.Inst. Civil Eng. Part 2.
1980. Dec.
- Crisfield: A mechanism program for computing the
strength of masonry arch bridges
1985. Transport and Road Research Laboratory Research Report 124.
- Crisfield: Finite element and mechanism methods for
the analysis of masonry and brickwork
arches
1985. Transport and Road Research Laboratory Research Report 19.

Page

Load test to collapse on two arch
bridges at Preston and Prestwood
1987 Transport and Road Research Labora-
tory, Research Report 110.

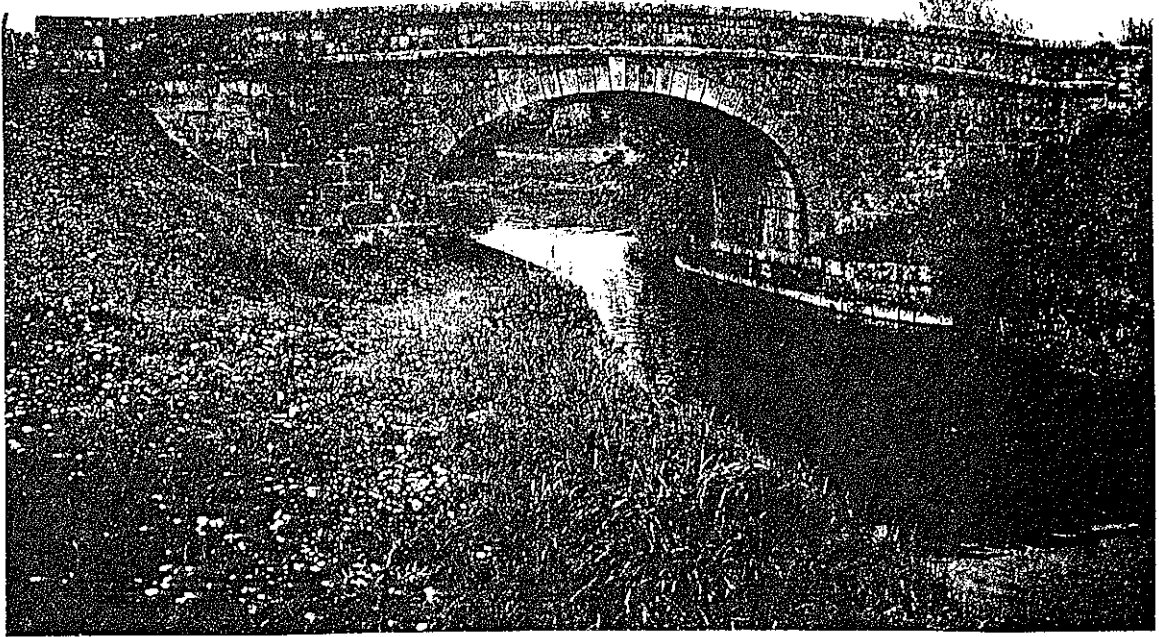
The assesment of highway bridges and
structures

Department of Transport BA 16/84 and BD 21/84

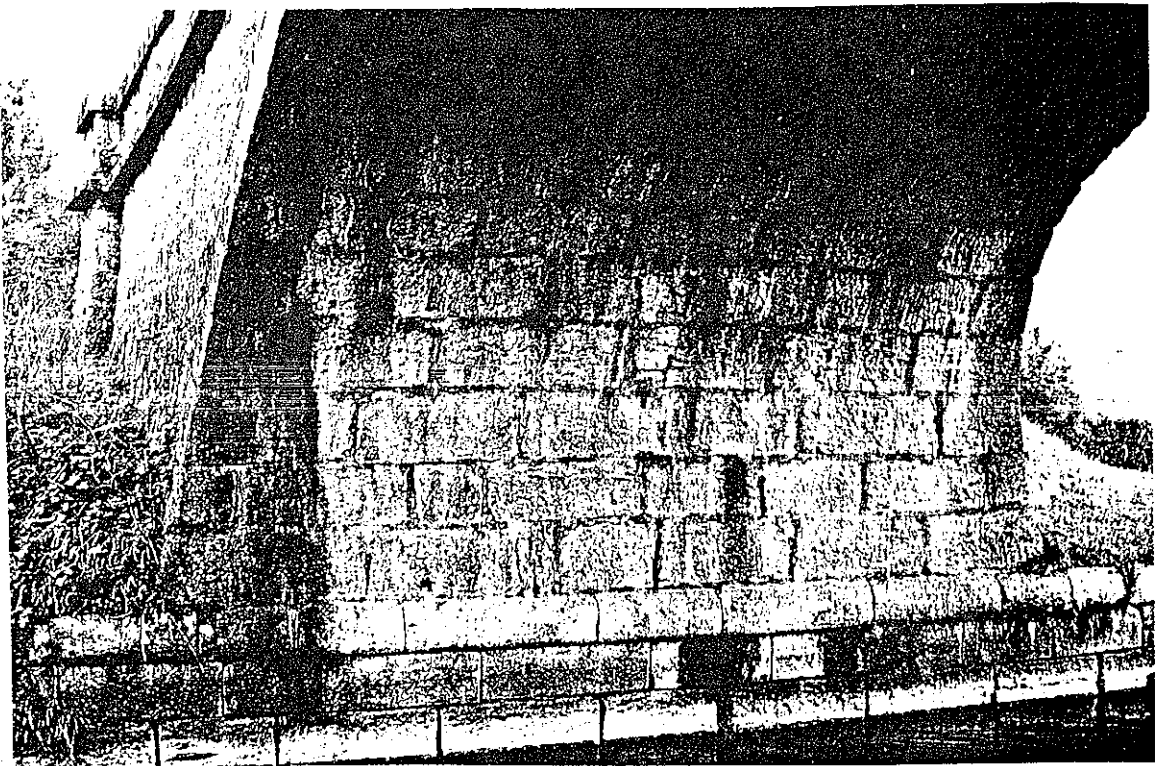
I. melléklet

Példák a MEXE-módszer állapot tényezőinek felvételére.

- 1 ... 6 képek: a teherviselő boltozatok hibái
- 7 ... 12 képek: boltozott hidak egyéb részeinek hibái

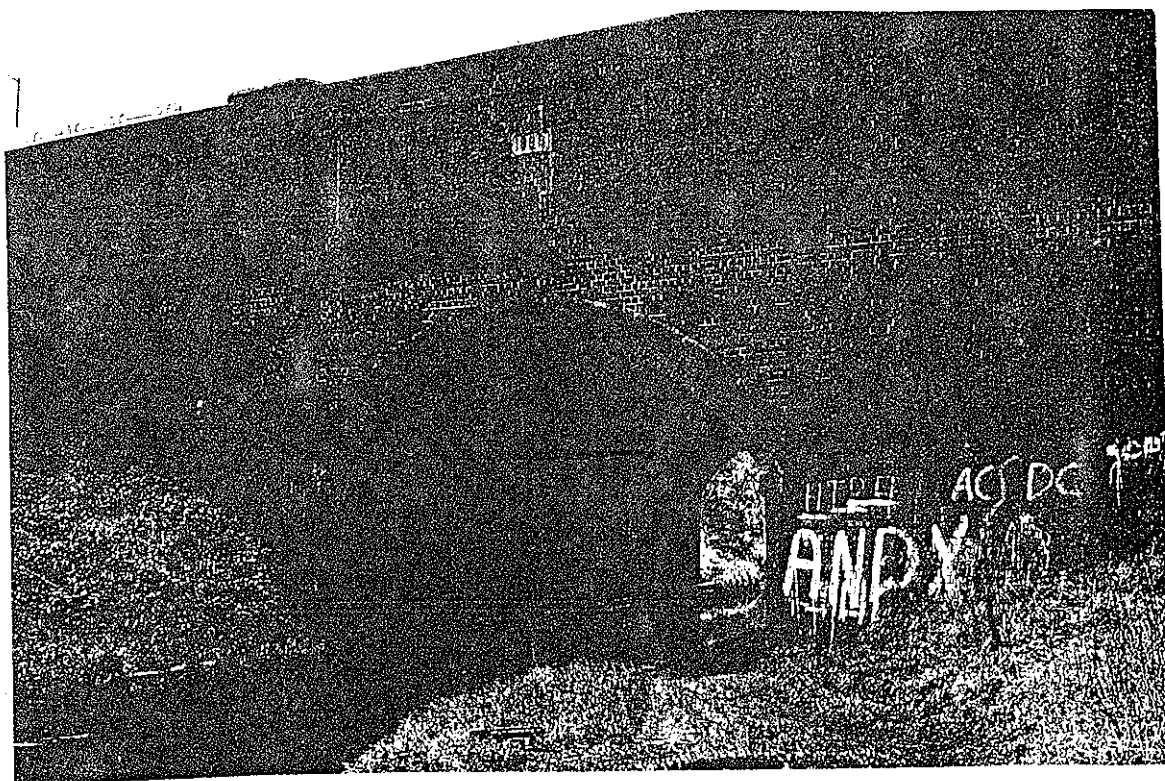


1/a. kép: oldalnézet

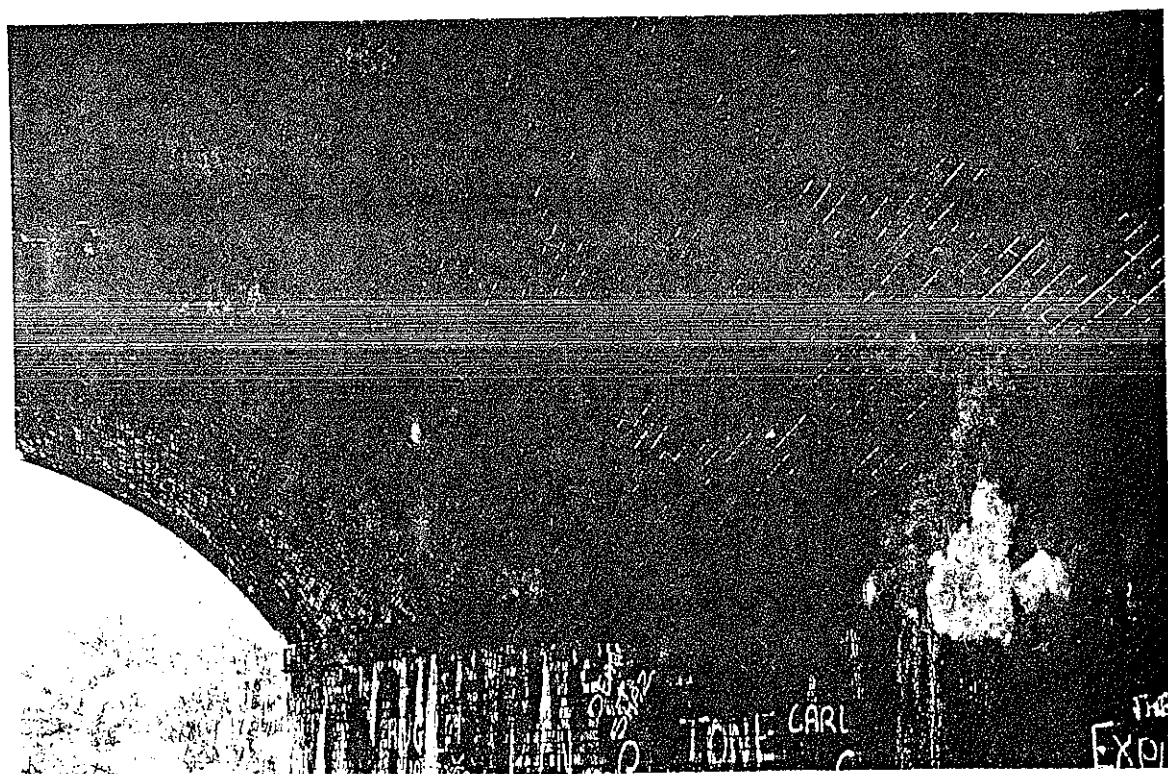


1/b. kép: alulnézet

A boltozat alakja jó, bár kismértékű deformáció van a negyedpontonál. A néhány kővön található repedezettség egyedi és nem általános. A köveken a hajóforgalom okozta ütődési nyomok vannak. Javasolt állapottényező: 0,9 .

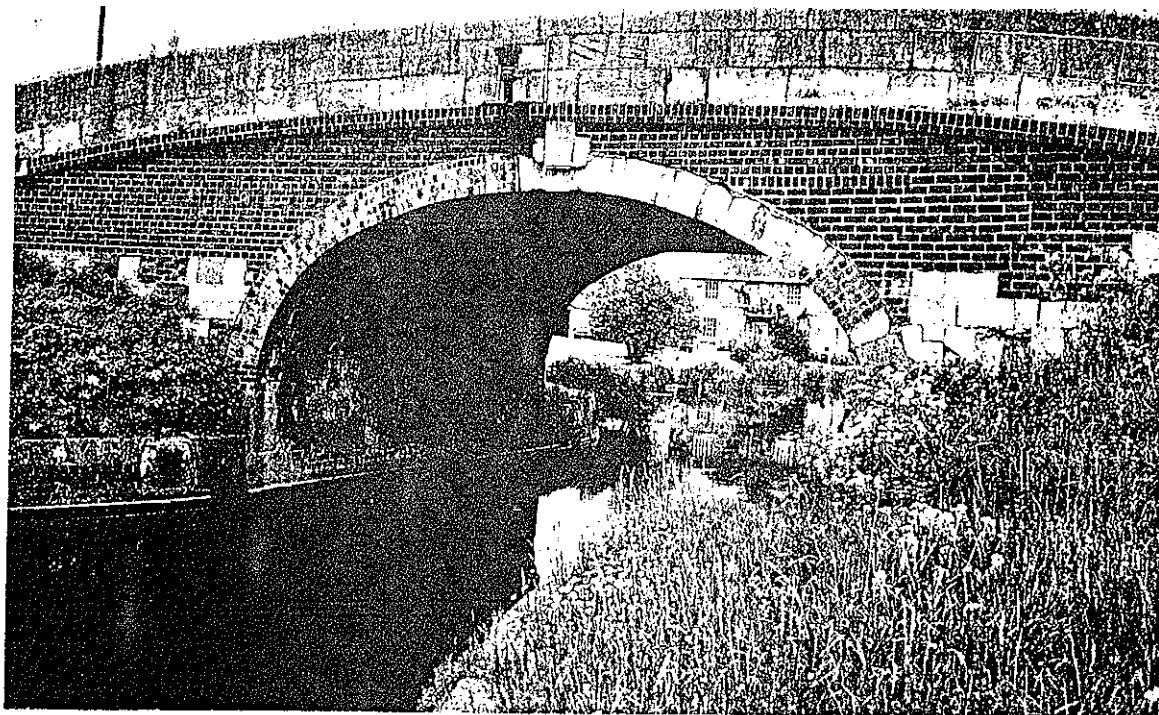


2/a. kép: oldalnézet

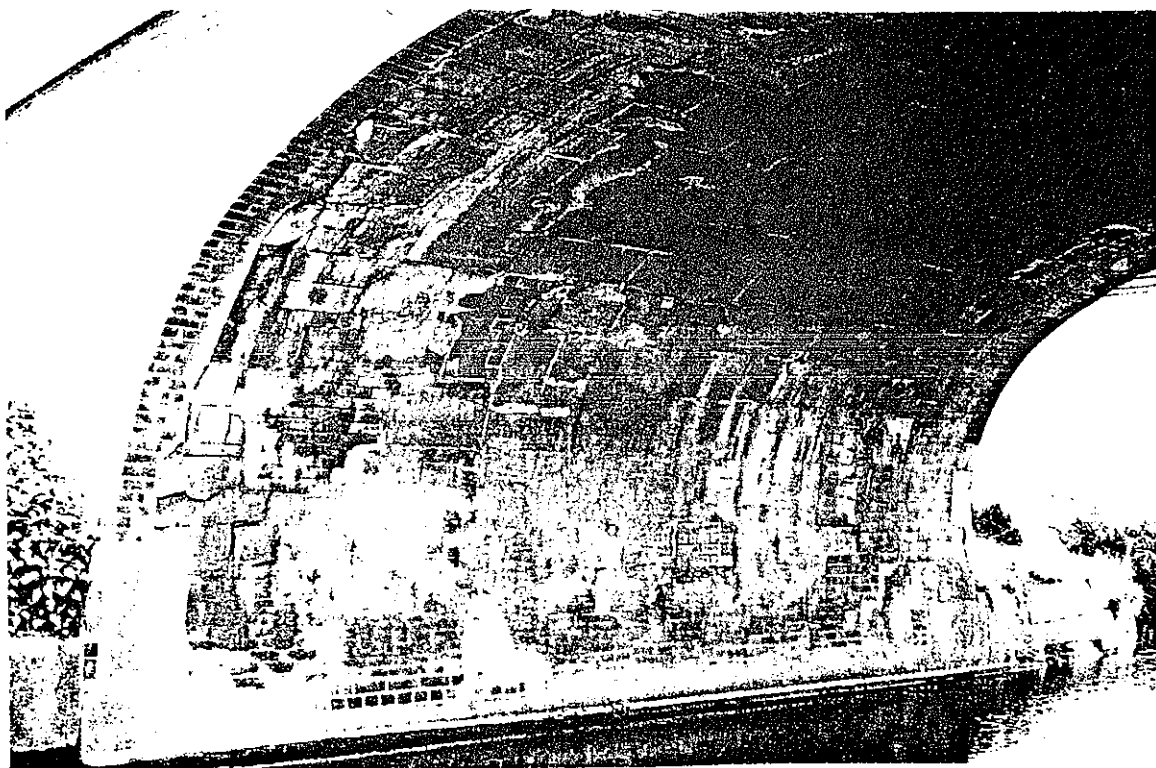


2/b. kép: alulnézet

A boltozat alakja és a téglaszerkezete jó. A helyi hibák kismértékűek. Jellegzetes repedések nincsenek. A nedvesség jelenléte nem jelentős. Javasolt állapotjegy: 0,9 .

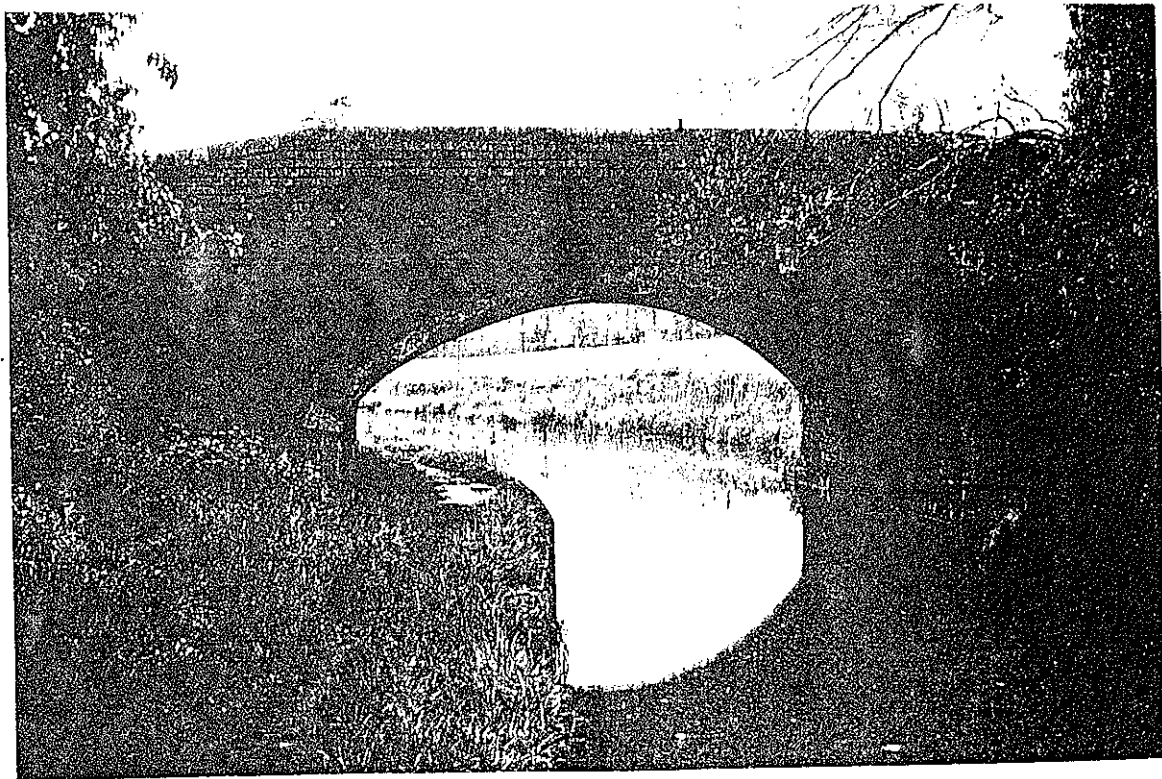


3/a.kép: oldalnézet

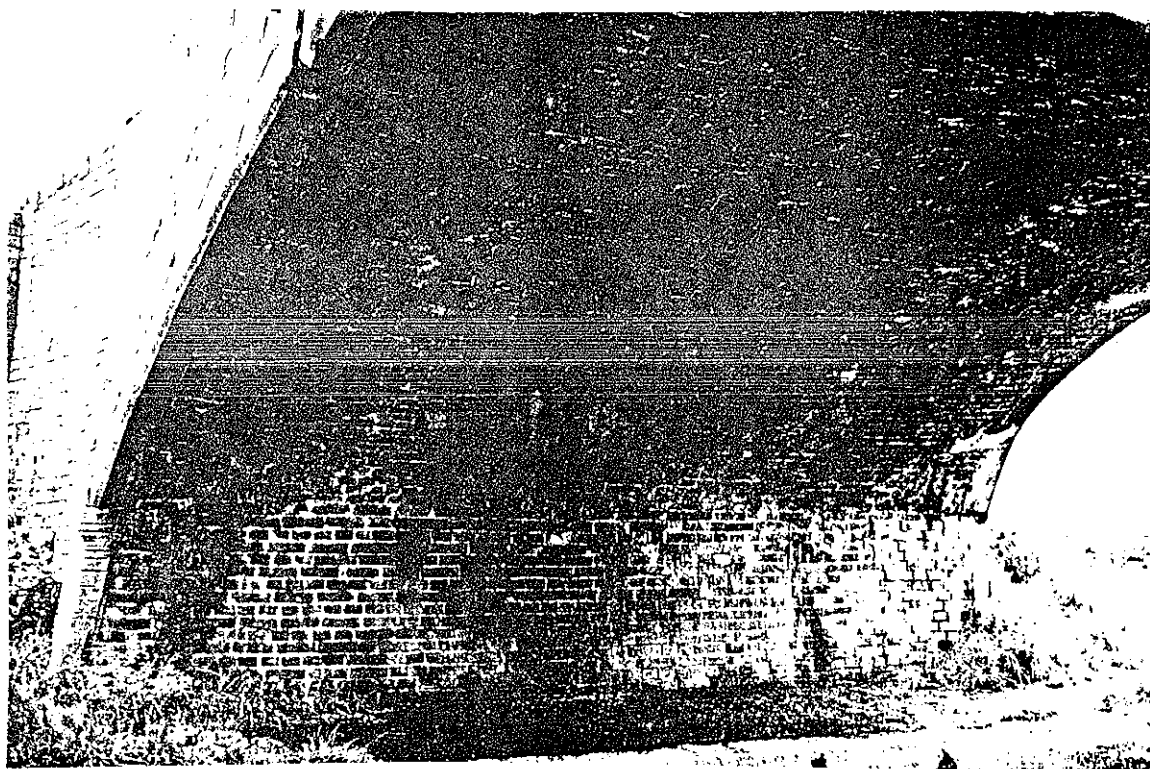


3/b.kép: alulnézet

A boltozat alakja általában jó, de helyenként kissé deformált. Több gyűrűirányú rövid repedés van az ív-vállnál, főleg a boltozat éleinél. Jól elvégzett javítások nyomai láthatók.
Javasolt állapottenyező: 0,7



4/a.kép: oldalnézet

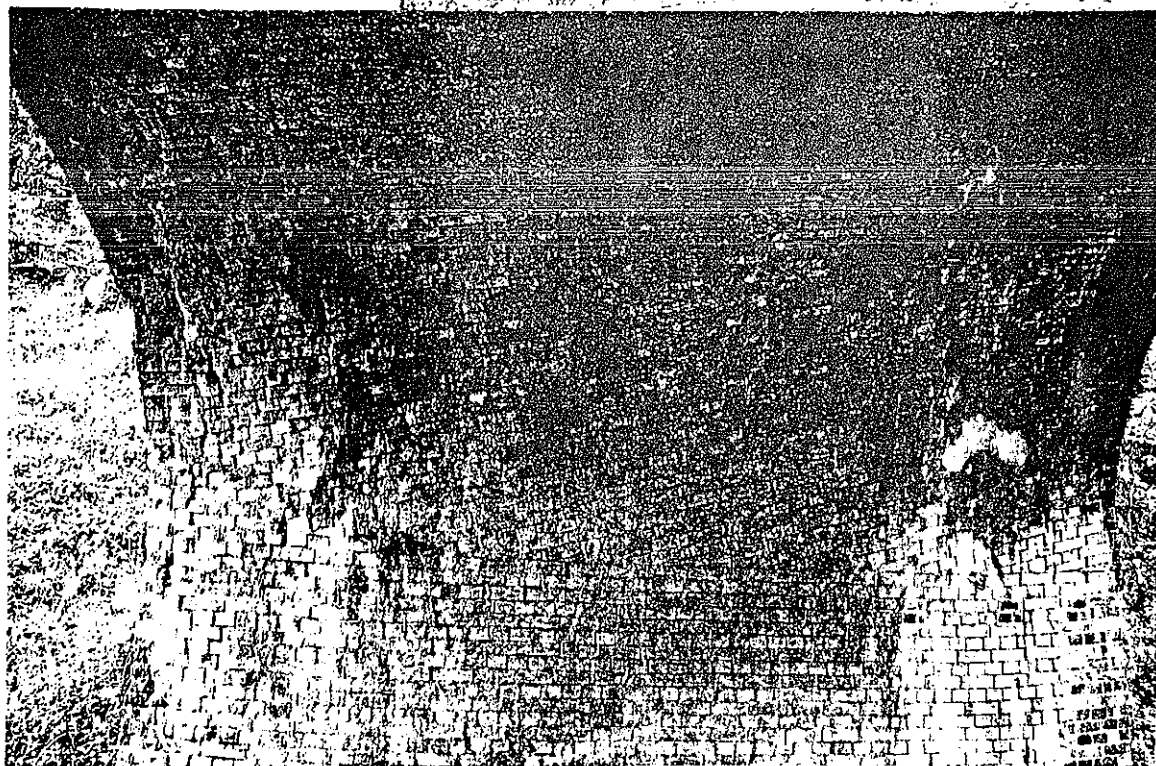
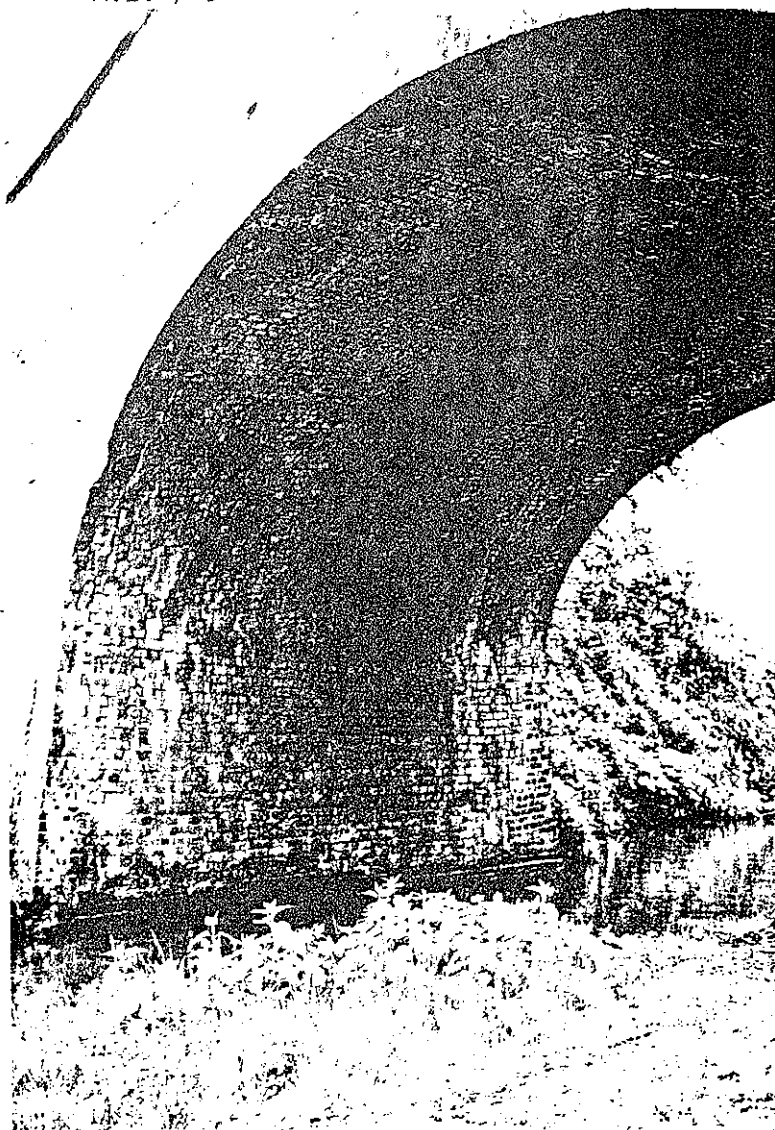


4/b.kép: alulnézet

A boltozat alakja jó, de súlyos gyűrűirányú repedezettség a szélek mentén.

Javasolt állapottényező: 0,5

5/a. alulnézet



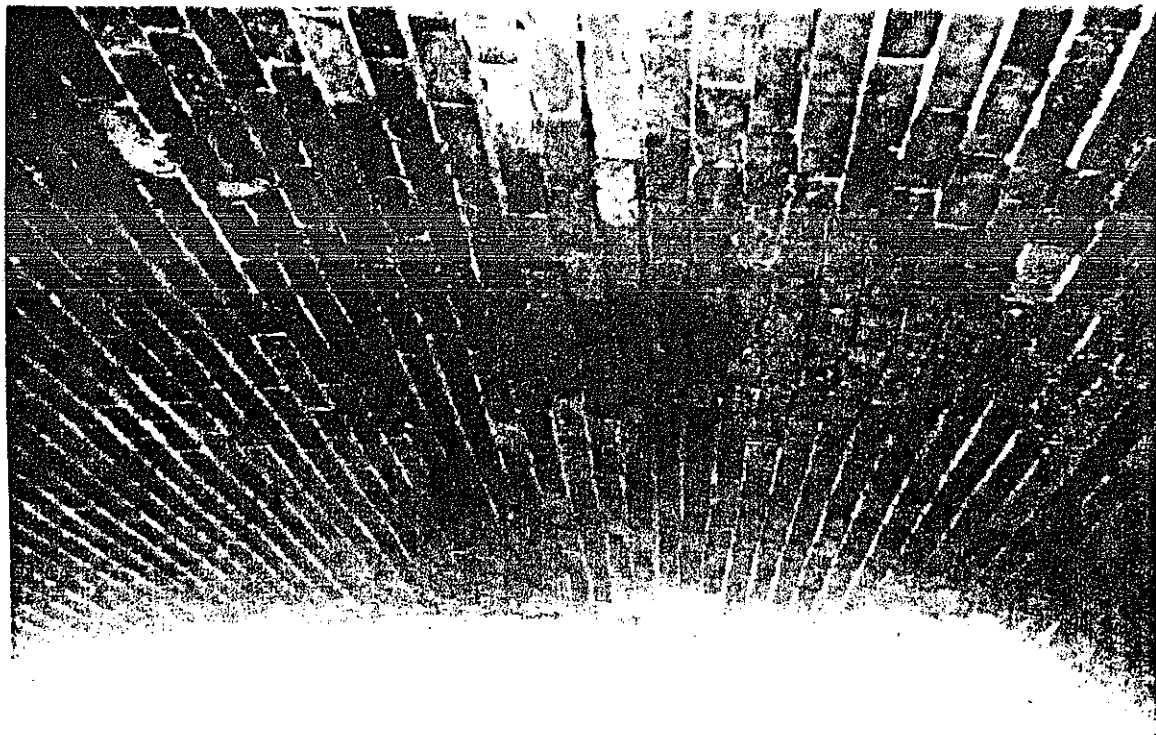
5/b.kép: alulnézet részlete

Bár a boltozat alakja jó, a sűrű gyűrűirányú repedezettség csaknem a teljes felületre kiterjed. A megnyílásuk nagyon nagy a széleknél.

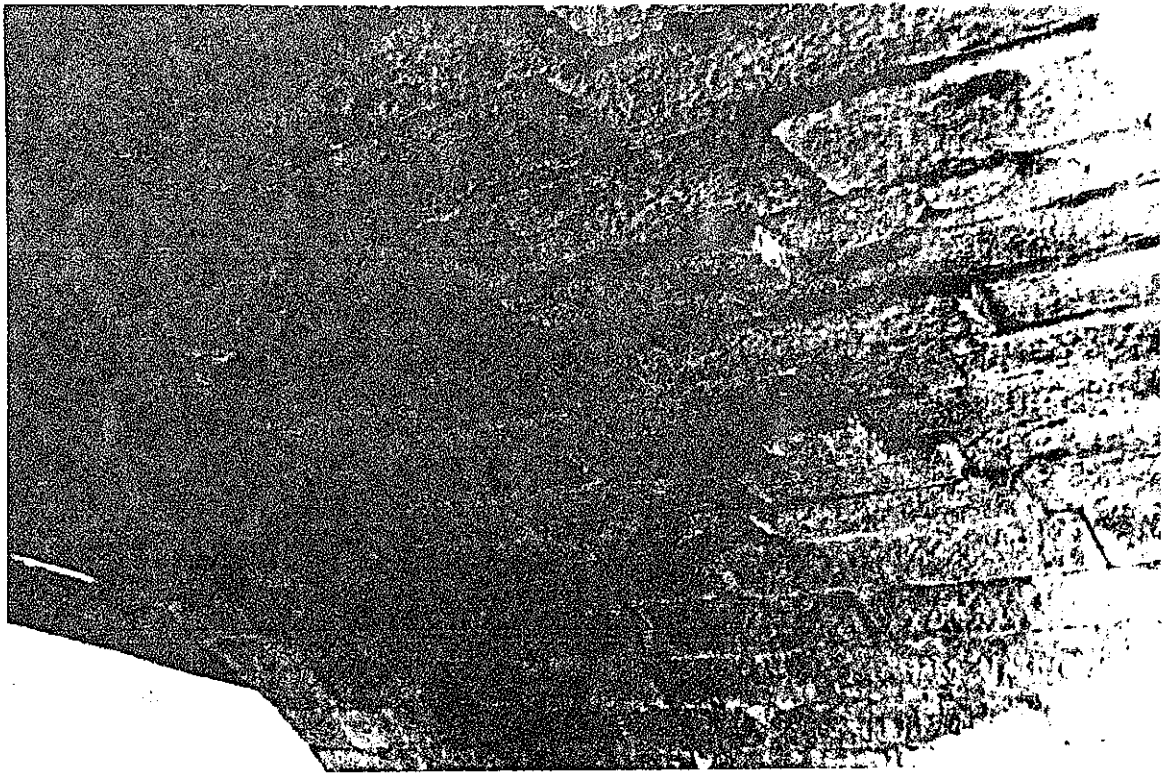
Javasolt állapottényező: 0,3



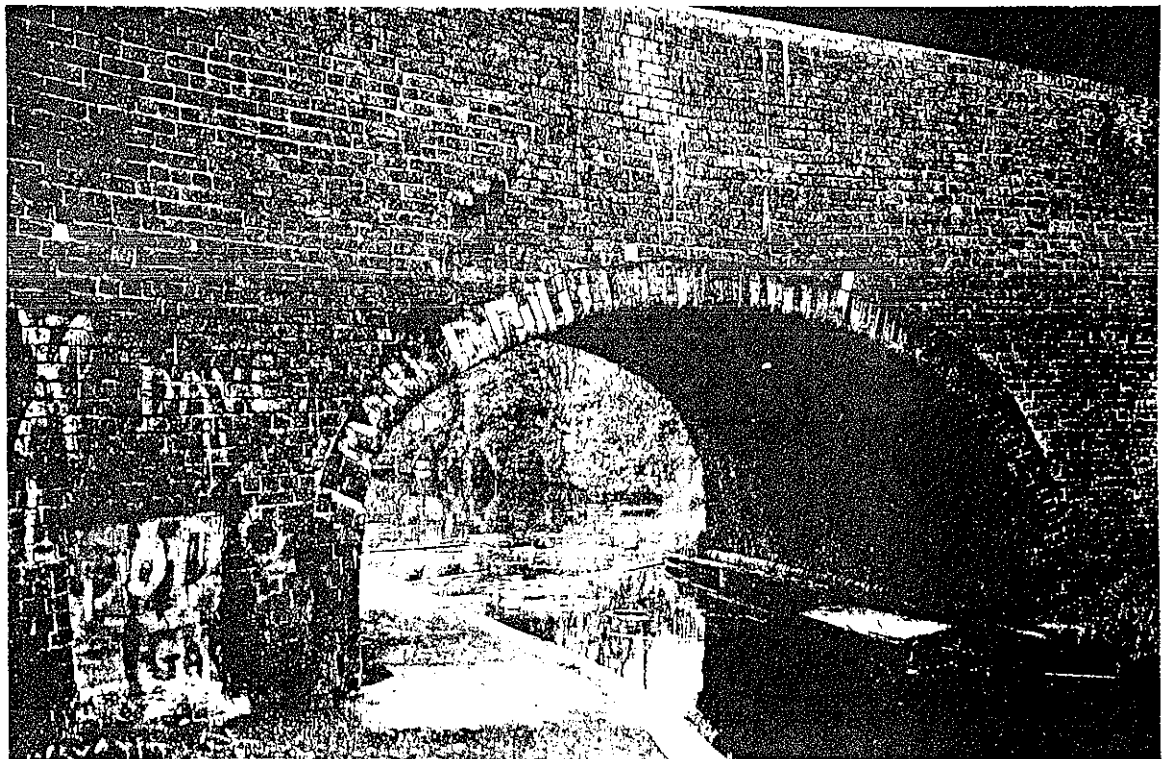
6/a.kép: Súlyosan deformált és belapult ív, MEXE módszer itt nem használható



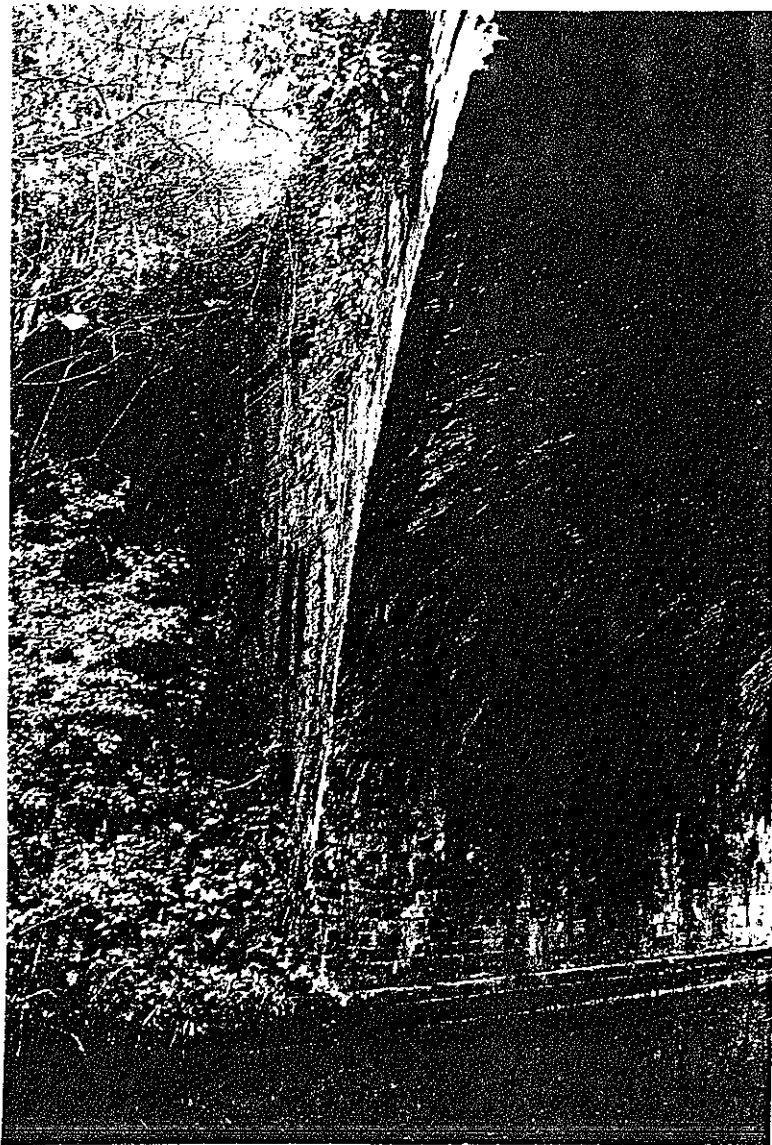
6/b.kép: A boltozat élén megfigyelhető törés alapján a javasolt állapottényező kb. 0,1



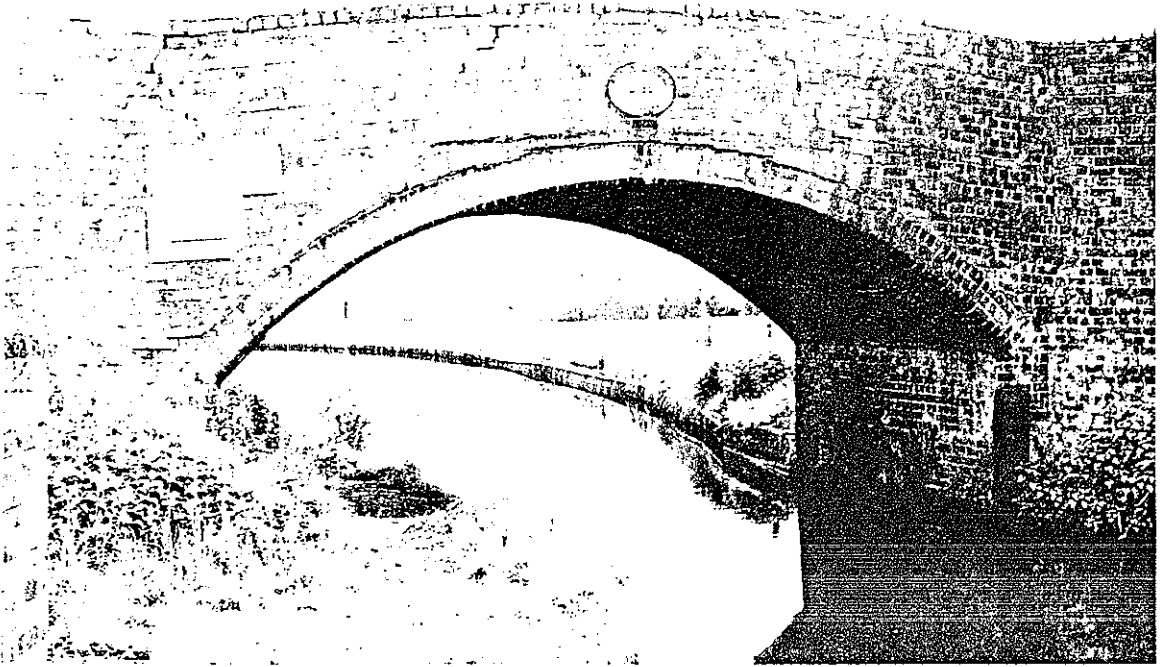
7.kép: Az egyes kövek sugárirányú elmozdulása, melyre a számítás során tekintettel kell lenni



8.kép: A homlokfal elmozdulása



9.kép: A homlokfal elválása a boltozattól
és a szárnyfal elmozdulása



10. kép: Feltehetőleg a boltozat rugalmas mozgását nem követi a homlokfal és megreped



11. kép: Az elburjánzó növényzetet ki kell irtani, mielőtt súlyosan károsítaná a falazatokat.

Mintaszámítás MEXE módszer szerint I.

A híd megnevezése	Hegyesd
Kiinduló helyszini adatok	
anyaga	kő
alakja	körív
szélessége m	6,400
nyílása m (L)	4,400
az intradosz ívmagassága m (m_K)	1,400
az ívmagasság negyedben m (m_n)	0,907
a boltozat vastagsága m (d)	0,300
a feltöltés magassága m (h)	0,300
Tényezők a helyszini állapotmeghatározás függvényében	
$f_b = \dots 0,7 \dots$	
$f_f = \dots 0,9 \dots$	
$f_m = (f_b \cdot d + f_f \cdot h) / (d + h)$	0,80
f_n	0,80
f_h	0,90
f_k	0,60
f_c	0,60
Számított mennyiségek	
$T_i = 7400 \cdot (d + h)^2 / L^{1.3}$ kN	388
$f_{ny} = 1,83 - 0,262 \cdot (L/m_K) + 0,0138 \cdot (L/m_K)^2 \leq 1$	1
$f_a = 2,3 \cdot \left(\frac{m_K - m_n}{m_K} \right)^{0.6}$	1
$f_i =$ összes tényező hatása	0,21
T_M tengelyterhelés ikertengely esetén $T_i \cdot f_i$ kN	80
t_f átszámítási tényező	1
egyes tengelykorlátozás $T_M \cdot t_f$ kN	80
összsúlykorlátozás (6.táblázat) kN	100
	kéttengelyes

Mintaszámítás MEKE módszer szerint I_I .

A híd megnevezése	Preston
Kiinduló helyszini adatok	
anyaga	...kő.....
alakja	...ellipszis...
szélessége m	...5,7.....
nyílása m (L)	...5,18.....
az intradosz ívmagassága m (m_K)	...1,64.....
az ívmagasság negyedben m (m_n)	...1,37.....
a boltozat vastagsága m (d)	...0,36.....
a feltöltés magassága m (h)	...0,38.....
Tényezők a helyszini állapotmeghatározás függvényében	
f_b = ...1,2..	
f_f = ...1....	
$f_m = (f_b \cdot d + f_f \cdot h) / (d + h)$	...1,09.....
f_n	...0,9.....
f_h	...1.....
f_k	...0,9.....
f_c	...0,8.....
Számított mennyiségek	
$T_i = 7400 \cdot (d + h)^2 / L^{1.3}$ kN	...478.....
$f_{ny} = 1,83 - 0,262 \cdot (L/m_K) + 0,0138 \cdot (L/m_K)^2 \leq 1$	...1.....
$f_a = 2,3 \cdot \left(\frac{m_K - m_n}{m_K} \right)^{0.6}$	...0,77.....
f_i = összes tényező hatása	...0,54.....
T_M tengelyterhelés ikertengely esetén $T_i \cdot f_i$ kN	...260.....
t_f átszámítási tényező	...1,14.....
egyes tengelykorlátozás $T_M \cdot t_f$ kN	...nincs. (290)
összsúlykorlátozás (6. táblázat) kN	...nincs.....

Mintaszámítás MEXE módszer szerint I.

A híd megnevezése		
Kiinduló helyszini adatok		
anyaga		.....
alakja		.....
szélessége	m	.....
nyílása	m (L )	.....
az intradosz ívmagassága	m (m_K )	.....
az ívmagasság negyedben	m (m_n )	.....
a boltozat vastagsága	m (d )	.....
a feltöltés magassága	m (h )	.....
Tényezők a helyszini állapotmeghatározás függvényében		
f_b	=	.....
f_f	=	.....
f_m	$= (f_b \cdot d + f_f \cdot h) / (d + h)$	.....
f_n		.....
f_h		.....
f_k		.....
f_c		.....
Számított mennyiségek		
T_i	$= 7400 \cdot (d + h)^2 / L^{1.3}$ kN	.....
f_{ny}	$= 1,83 - 0,262 \cdot (L/m_K) + 0,0138 \cdot (L/m_K)^2 \leq 1$	.....
f_a	$= 2,3 \cdot \left(\frac{m_K - m_n}{m_K} \right)^{0.6}$	.....
f_i	= összes tényező hatása	.....
T_M	tengelyterhelés ikertengely esetén $T_i \cdot f_i$ kN	.....
t_f	átszámítási tényező	.....
	egyes tengelykorlátozás $T_M \cdot t_f$ kN	.....
	összsúlykorlátozás (6.táblázat) kN	.....

Mintasámítás Heyman szerint, I. példa

A híd megnevezése		Hegyesd
Kiinduló helyszíni adatok		
anyaga		kő
alakja		körív
szélessége	m	6,400
nyílása	m (L)	4,400
az intradosz magassága	m (m_K)	1,400
a magasság negyedben	m (m_n)	1,110
a boltozat vastagsága a záradéknál	m (d)	0,300
a boltozat vastagsága a támasznál	m (kt)	envolt mérhető
a boltozat vastagsága negyedben	m (t)	-
a feltöltés magassága	m (h)	0,300
a boltozat és feltöltés sűrűsége	kN/m ³ (γ)	18,00
Paraméterek számítása		
$\alpha = m_n / m_K$		0,786
$\beta = (d + h) / m_K$		0,428
$\varepsilon = t / m_K$		0,235
$k = kt / t$		1,757
$p = \frac{(1 + 3\beta - \alpha) [\alpha + (1-k/4) \cdot \varepsilon] - (6+9\beta - 5\alpha) [(1-\alpha) - (1+k/4)\varepsilon]}{(3 - 2 \cdot \alpha) - (2 + k) \cdot \varepsilon}$		3,87
$T_{el} = \frac{p \cdot \gamma \cdot L \cdot m_K}{6}$	kN/m	71,52
t_f átszámítási tényező (4. ábra)		1
biztonsági tényező	n	3
forgalmi sáv szélessége	m (b)	3,0
T_M tengelyterhelés ikertengely esetén	$\frac{T_{el} \cdot b^x}{t_f \cdot n}$	71,52
egyes tengely korlátozás	kN	70
összsúlykorlátozás (6. táblázat)	kN	100
Számított mennyiségek körív feltételezésével		
az intradosz sugara	m (r) $r = \frac{L^2}{8 m_K} + \frac{m_K}{2}$	2,43
az extradosz sugara	m (R) $R = r + d$	2,73
vastagság támasznál	m (kt) $kt = \sqrt{R^2 - (L/2)^2} - \sqrt{r^2 - (L/2)^2}$	0,58
vastagság negyedben	m (t) $t = \sqrt{R^2 - (L/4)^2} - \sqrt{r^2 - (L/4)^2}$	0,33
ív magasság negyedben	m (m_n) $m_n = \sqrt{r^2 - (L/4)^2} + m_K - r$	1,13 ~ 1,110

Megjegyzés: p értéke interpolálva a táblázatból

$$\alpha = 0,78$$

$$\varepsilon = 0,235$$

$$\beta = 0,428 \text{ esetére}$$

ε	$\beta = 0$	$\beta = 1$
0,22	0,41	4,68
0,24	0,53	5,53

p = 2,56 -t eredményezne.

Az eltérés lényeges, mivel k nem egyenlő eggyel !

Mintaszámítás Heyman szerint, II. példa

A híd megnevezése	Preston
Kiinduló helyszíni adatok	
anyaga	kő
alakja	ellipszis
szélessége m	5,7
nyílása m (L)	5,18
az intradosz magassága m (m _K)	1,64
a magasság negyedben m (m _n)	1,37
a boltozat vastagsága a záradéknál m (d)	0,36
a boltozat vastagsága a támasznál m (kt)	
a boltozat vastagsága negyedben m (t)	
a feltöltés magassága m (h)	0,38
a boltozat és feltöltés sűrűsége kN/m ³ (σ)	22,5
Paraméterek számítása	
$\alpha = m_n / m_K$	0,835
$\beta = (d + h) / m_K$	0,451
$\varepsilon = t / m_K$	0,238
$k = kt / t$	1,784
$p = \frac{(1 + 3\beta - \alpha) [\alpha + (1-k/4) \cdot \varepsilon] - (6+9\beta - 5\alpha) [(1-\alpha) - (1+k/4)\varepsilon]}{(3 - 2 \cdot \alpha) - (2 + k) \cdot \varepsilon}$	5,873
$I_{el} = \frac{p \cdot \sigma \cdot L \cdot m_K}{6}$ kN/m	187
t _f átszámítási tényező (4.ábra)	1,14
biztonsági tényező n	3
forgalmi sáv szélessége m (b)	3,00
I _M tengelyterhelés ikertengely esetén $\frac{I_{el} \cdot b^x}{t_f \cdot n}$ kN	164
egyes tengely korlátozás kN	187
összsúlykorlátozás (6. táblázat) kN	nincs
Számított mennyiségek körív feltételezésével	
az intradosz sugara m (r) $r = \frac{L^2}{8 m_K} + \frac{m_K}{2}$	2,865
az extradosz sugara m (R) $R = r + d$	3,225
vastagság támasznál m (kt) $kt = \sqrt{R^2 - (L/2)^2} - \sqrt{r^2 - (L/2)^2}$	0,696
vastagság negyedben m (t) $t = \sqrt{R^2 - (L/4)^2} - \sqrt{r^2 - (L/4)^2}$	0,398
ív magasság negyedben m (m _n) $m_n = \sqrt{r^2 - (L/4)^2} + m_K - r$	1,33 ~ 1,37

Megjegyzés: Ellipszis alak feltételezése esetén a támasznál számítható vastagság (kt) 0,957 lenne. A többi adat változatlan hagyása esetén ez kb. 2,8 szoros teherbírás-növekedést jelentene.

Mintaszámitás Heyman szerint, I. példa

A híd megnevezése		
Kiinduló helyszini adatok		
anyaga		.....
alakja		.....
szélessége	m	.....
nyílása	m (L )	.....
az intradosz magassága	m (m _K )	.....
a magasság negyedben	m (m _n )	.....
a boltozat vastagsága a záradéknál	m (d )	.....
a boltozat vastagsága a támasznál	m (kt )	.....
a boltozat vastagsága negyedben	m (t )	.....
a feltöltés magassága	m (h )	.....
a boltozat és feltöltés sűrűsége	kN/m ³ (γ )	.....
Paraméterek számítása		
α = m _n / m _K		.....
β = (d + h) / m _K		.....
ε = t / m _K		.....
k = kt / t		.....
$p = \frac{(1 + 3\beta - \alpha) [\alpha + (1-k/4) \cdot \varepsilon] - (6+9\beta - 5\alpha) [(1-\alpha) - (1+k/4)\varepsilon]}{(3 - 2 \cdot \alpha) - (2 + k) \cdot \varepsilon}$		.....
$I_{\text{él}} = \frac{p \cdot \gamma \cdot L \cdot m_K}{6}$		kN/m
t _f	átszámitási tényező (4.ábra )	.....
biztonsági tényező		n
forgalmi sáv szélessége		m (b)
I _M tengelyterhelés ikertengely esetén	$\frac{I_{\text{él}} \cdot b^x}{t_f \cdot n}$	kN
egyes tengely korlátozás		kN
összsúlykorlátozás (6. táblázat)		kN
Számított mennyiségek körív feltételezésével		
az intradosz sugara	m (r)	$r = \frac{L^2}{8 m_K} + \frac{m_K}{2}$
az extradosz sugara	m (R)	$R = r + d$
vastagság támasznál	m (kt)	$kt = \sqrt{R^2 - (L/2)^2} - \sqrt{r^2 - (L/2)^2}$
vastagság negyedben	t	$t = \sqrt{R^2 - (L/4)^2} - \sqrt{r^2 - (L/4)^2}$
ív magasság negyedben	m (m _n)	$m_n = \sqrt{r^2 - (L/4)^2} + m_K - r$