



PÁLYA ÉS MÉRNÖKI LÉTESÍTMÉNYEK FŐOSZTÁLY: *2854*  
*3370*

*Pr*  
*...*  
*...*

MÁV Zrt. PVÜ  
Területi Központ

S z o m b a t h e l y

Iktató szám **P-5503/2007**  
Tárgy: Komplex boltozat  
rehabilitációs eljárás-  
Irányelvek  
Ügyintéző: Erdődi László  
Telefon: 511-3287  
Telefax: 511-40-06  
Melléklet: 3 pl. tervdokumentáció

Mellékelten megküldöm az „Irányelvek: tégl-, kő- és beton anyagú boltozott hidak rehabilitációja 2007.” című anyagot.

Az anyag jóváhagyási záradékát és alkalmazásával kapcsolatos rendelkezésemet az Irányelv tartalmazza.

Kérem Osztályvezető Urat, hogy területéhez tartozó szakembereket a kiadott anyaggal lássa el és alkalmazásánál a jóváhagyásban leírt rendelkezés szerint járjon el.

Budapest, 2007. november 23.

**Csek Károly sk.**  
**igazgató**

A kiadmány hitelétül:

*Handwritten notes and signatures:*  
*...*  
*...*  
*...*  
*...*

MÁGYAR ÁLLAMVASUTAK ZRT  
PÁLYAVASÚTI ÜZLETÁG  
10.  
1940 Budapest VI., Andrássy út 73-75.

**MAGYAR ÁLLAMVASUTAK ZÁRTKÖRŰEN MŰKÖDŐ RÉSZVÉNYTÁRSASÁG**

Pálya és Mérnöki Létesítmények Főosztály  
1062 Budapest, Andrássy út 73-75. | Postacím: 1940 Budapest  
Telefon: (1) 511 30 70 | Fax: (1) 511 40 06

# IRÁNYELVEK

Tégla-, kő- és beton anyagú boltozott hidak  
rehabilitációjára

2007.

Jóváhagyási szám: P-5503/2007.



MÁV Zrt.

A Vertikor-Alpin Kft. által kidolgozott 2007. júniusában „Komplex boltozat rehabilitációs eljárás: Téglá-, kö-, és beton anyagú boltozott hidak rehabilitációja a meglévő teherbírás figyelembevételével” című alkalmazás-technológiai irányelveket jóváhagyom és a MÁV által üzemeltetett közforgalmú vasútvonalak műtárgyainál történő alkalmazásával kapcsolatban az alábbiakat rendelem el:

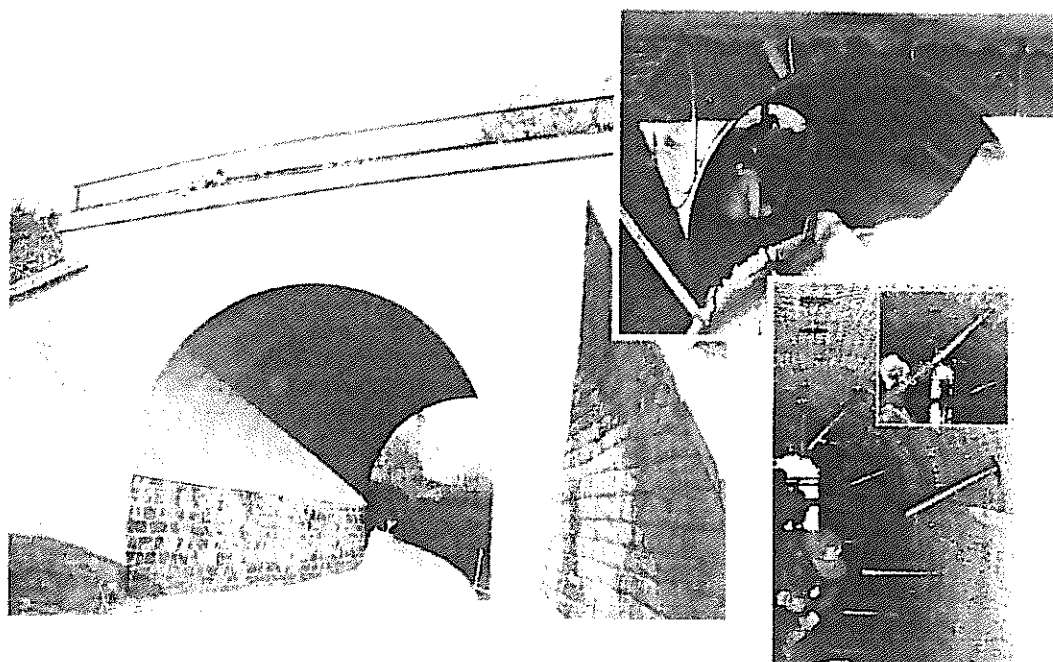
1. Az 1.1. pontban szereplő teherbírás megállapítást és állapotértékelést csak referenciával rendelkező szakcég (Vertikor-Alpin Kft, Pécsi Tudományegyetem Műszaki Kar Anyagtan, Geotechnika és Közlekedésépítési Tanszék) végezheti. A fenti anyagnak javaslatot kell tartalmaznia a rehabilitáció módjára.
2. A rehabilitációs megoldások kiválasztása a MÁV ZRt. Pálya és Mérnöki Létesítmények Főosztály Mérnöki Létesítmények Osztályával közösen történik a technológia, költség, várható élettartam, vasútfejlesztési igények stb. mérlegelésével.
3. Boltozatok megerősítéséhez minden esetben tervet kell készíteni a kiválasztott technológia figyelembe vételével az ismertetett számítási eljárások alkalmazásában jártas tervezőnek. A tervnek a méretezést részletesen kell tartalmaznia és hivatkozni kell az irányelvek megfelelő pontjára. Amennyiben az alkalmazandó technológia az irányelvekben rögzített típus technológiáktól eltér, úgy az abban szereplő technológiai tervvel azonos szintű tervet kell kidolgozni.
4. Az irányelv adott kivitelezőre Vertikor-Alpin Kft. került meghatározásra, ezért más kivitelező esetén a rendelkezésre álló erőforrások figyelembevételével azonos szintű technológiai tervet kell kidolgozni és jóváhagyatni.
5. Jelen jóváhagyásunkat a Vertikor-Alpin Kft. részére 2 éves időtartamra adtuk ki, azzal a kikötéssel, hogy ez alatt az idő alatt végzett boltozat rehabilitációs munkákról munkánként az átadási dokumentációval egyidejűleg max. 2-3 oldal terjedelmű írásos értékelést kérünk. Két év elteltével az így összegyűlt tapasztalatokkal az irányelv szükség szerint módosítandó – kiegészítendő.

Budapest, 2007. november 23.

  
Csek Károly  
igazgató

# Komplex boltozat rehabilitációs eljárás

Tégla, kő és beton anyagú boltozott hidak rehabilitációja a meglévő teherbírás figyelembevételével



## Alkalmazás-technológiai irányelvek

Kidolgozó, kivitelező:

**Vertikor-Alpin Kft.**

7634 Pécs, Rácvárosi út 70.

Tel/Fax: 72/253-616

E-mail: valpin@t-online.hu

Tervezés, tanácsadás, diagnosztika:

Pécsi Tudományegyetem Műszaki Kar  
Anyagtan, Geotechnika és Közlekedésépítés Tanszék

7624 Pécs, Boszorkány u. 2

Tel/Fax: 72/210-141

Pécs, 2007. június

# TARTALOM

Összefoglaló	3.o.
<b>1. A szerkezet rehabilitáció folyamata</b>	<b>4.o.</b>
<b>1.1 A meglévő teherbírás megállapítása, állapot értékelés</b>	<b>4.o.</b>
1.1.1 Alapelvek	4.o.
1.1.2 A teherbírás értékelésének folyamata	4.o.
1.1.3 Értékelés erőtani számítás alapján	4.o.
1.1.4 Diagnosztikai eljárások	4.o.
1.1.4.1 Anyagvizsgálatok	5.o.
1.1.4.2 Speciális diagnosztikai eljárások	6.o.
<b>1.2 A rehabilitáció tervezésének alapelvei</b>	<b>9.o.</b>
1.2.1 A teherbírasi tartalék kiaknázhatósága	9.o.
1.2.2 Rehabilitáció a meglévő kapacitás kihasználásával	9.o.
1.2.3 A hatékony rehabilitáció anyagai	9.o.
<b>1.3 Boltozat rehabilitációs megoldások</b>	<b>10.o.</b>
1.3.1 A meglévő szerkezettel együttműködő vékony löttbeton kéreg	10.o.
1.3.2 Boltozat repedéseinek áthidalása rozsdamentes spirálacéllal	11.o.
1.3.3 Boltozat rehabilitációja injektálással	11.o.
1.3.4 A boltozat háttöltésének injektálása	12.o.
<b>1.4 Falazott szerkezetek karbantartása és rekonstrukciója</b>	<b>12.o.</b>
1.4.1 A kőszerkezetek hézagolásának javítása	12.o.
1.4.2 A kőanyag felületvédelme	13.o.
<b>1.5 Számítási eljárások boltozatok megerősítésének tervezéséhez</b>	<b>14.o.</b>
1.5.1 Végeelem módszerek	14.o.
1.5.2 Diszkrét elemes módszerek	15.o.
1.5.3 A 'merev-blokk' módszer	15.o.
<b>2. Technológiai leírások</b>	<b>17.o.</b>
<b>2.1 Boltozott hidak rehabilitációja nagy teljesítőképességű, szálerősítésű, rugalmas löttbeton kéreggel</b>	<b>17.o.</b>
<b>2.2 Boltozott hidak rehabilitációja injektálással</b>	<b>20.o.</b>
<b>2.3 Boltozott hidak rehabilitációja rozsdamentes spirálacéllal</b>	<b>22.o.</b>
<b>2.4 Kő és téglá anyagú boltozott hidak karbantartása és felújítása fugázással, kőpótlással, impregnálással</b>	<b>24.o.</b>
Hivatkozások	25.o.
Mellékletek	26.o.
<b>1. sz. melléklet:</b> Boltozott hidak rehabilitációja nagy teljesítőképességű, szálerősítésű, rugalmas löttbeton kéreggel (referencia)	
<b>2. sz. melléklet:</b> Boltozott hidak rehabilitációja injektálással (referencia)	
<b>3. sz. melléklet:</b> Boltozott hidak megerősítése rozsdamentes spirálacéllal	
<b>4. sz. melléklet:</b> Kő és téglá anyagú boltozott hidak karbantartása és felújítása fugázással, kőpótlással, impregnálással (referencia)	

## Összefoglaló

Az alábbi irányelvek téglá, kő és beton anyagú boltozott vasúti hidak rehabilitációjára mutatnak eljárást. A vázolt technológiai megoldások célja a boltozatok élettartamának és teherbírásának szükség szerinti növelése a szerkezetek meglévő teherbírásának kihasználásával és a meglévő szerkezeti anyagokkal és statikai rendszerrel kompatibilis anyagok felhasználásával. Az eljárás magában foglalja a szerkezetek állapot értékelésének, diagnosztikájának, teherbírás számításának, a beavatkozások megtervezésének, a kivitelezés technológiájának és minőségellenőrzésének komplex folyamatát.

Az alkalmazástechnológiai irányelvekben egy rendszert írunk le, amely az alkalmazott szerkezeti megoldások és technológiai folyamatok ismertetése mellett az állapotfelmérés, diagnosztika, tervezés és minőség-ellenőrzés lépéseit is tartalmazza. Ennek elemei a következők:

- Számítási eljárás
  - o a híd teherbírásának megállapítására és
  - o használhatósági követelményeinek ellenőrzésére.
- Diagnosztikai és vizsgálati eljárások:
  - o a híd általános állapotának felmérésére,
  - o a híd károsodások mértékének megállapítására,
  - o látható és rejtett geometriai jellemzők megállapítására,
  - o anyagjellemzők megállapítására,
  - o A megerősítésekhez és felújításokhoz kapcsolódó anyagvizsgálatok és diagnosztikai eljárások.
- Technológiai leírások:
  - o Boltozott hidak rehabilitációja nagy teljesítőképességű, szálerősítésű, rugalmas löttbeton kéreggel.
  - o Boltozott hidak rehabilitációja injektálással.
  - o Boltozott hidak rehabilitációja rozsdamentes spirálacéllal.
  - o Kő és téglá anyagú boltozott hidak karbantartása és felújítása fugázással, köpötléssel, impregnálással.

Az irányelvekben vázolt eljárás legfontosabb célkitűzése olyan boltozat rehabilitációs megoldások alkalmazása, amely:

- A meglévő szerkezet teherbírását és élettartamát a szükséges és tervezhető mértékben megnöveli,
- A meglévő szerkezettel együttműködni képes,
- A meglévő szerkezeti anyagokkal mechanikai, fizikai és kémiai szempontból kompatibilis anyagokat alkalmaz,
- A megoldások hatékonyságát statikai számításokkal és diagnosztikai vizsgálatokkal ellenőrzi.

# 1. A szerkezet rehabilitáció folyamata

## 1.1 A meglévő teherbírás megállapítása, állapot értékelés

### 1.1.1 Alapelvek [1]

Boltozott hidak állapot értékelését, hasonlóan más szerkezetekhez, minden esetben szemrevételezéses vizsgálattal, a meglévő tervtári adatok és korábbi vizsgálati eredmények tanulmányozásával kell kezdeni. Amennyiben nincs szükség erőtani számításra az állapot értékelést a rendelkezésre álló adatok, illetve a szemrevételezéssel felvett hibatérkép alapján kell elvégezni. További vizsgálatra akkor van szükség, ha a szerkezet biztonsága a rendelkezésre álló adatok alapján megkérdőjelezhető. Abban az esetben, ha az állapot értékeléshez a teherbírást is meg kell állapítani, a számítást célszerű több lépcsőben elvégezni. Először egy olyan közelítő módszerrel kell kezdeni, amely minden esetben a biztonság javára közelít. Ha a szerkezet ez alapján nem felel meg, akkor további számításokra és vizsgálatokra van szükség. Tisztában kell lennünk azzal, hogy az elhamarkodott döntés sokkal drágább (és esetleg szükségtelen) beavatkozásokhoz vezethet, mint egy újabb vizsgálat.

Az optimális szerkezet rehabilitációs megoldások megtervezéséhez elengedhetetlen a meglévő szerkezet anyagainak, geometriájának, állapotának, teher alatti viselkedésének és meglévő teherbírásának megbízható ismerete, valamint a várható tönkremeneteli folyamatainak előrelátása. Mindehhez megfelelő számítási és diagnosztikai eljárások alkalmazására van szükség.

### 1.1.2 A teherbírás értékelésének folyamata

Meglévő boltozott hidak megfelelőségi követelményeinek ellenőrzése történhet:

- Használati tapasztalatok és szemrevételezés, valamint az ezeket kiegészítő diagnosztikai vizsgálatok (elsősorban kis roncsolásos, roncsolás mentes, ill. kémiai vizsgálatok) alapján,
- Erőtani számítás, valamint az ezeket kiegészítő diagnosztikai vizsgálatok (roncsolásos, kis roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatok) alapján,
- Próbaterhelés alapján,
- Valamint ezek kombinációira alapozott vizsgálatok alapján.

### 1.1.3 Értékelés erőtani számítás alapján

A boltozott hidak erőtani számítására akkor van szükség, ha a szerkezet teherbírása a használati tapasztalatok, valamint a szemrevételezés révén nem igazolható egyértelműen, illetve ha a szerkezet terhelési körülményei megváltoznak, vagy a teherviselési rendszer megváltozását előidéző beavatkozásra kerül sor.

### 1.1.4 Diagnosztikai eljárások

#### 1.1.4.1 Anyagvizsgálatok

##### A falazat típusának és összetételének vizsgálata

A falazatok anyagainak és azok összetételének ismerete elengedhetetlen a meglévő szerkezettel kompatibilis rehabilitációs megoldások megtervezéséhez. Az alábbi paraméterek vizsgálatára van szükség:

- falazókő típusa (mérnökgeológiai vizsgálat),
- falazóhabarcs összetételének vizsgálata,
- a falazat kötési típusának megállapítása,
- falazóelemek méretei és a fugázat vastagsága.

##### Mállottság vizsgálata

A falazat mállottsága a szerkezet tartósságára illetve a falazóelemek szilárdságára van befolyással, ezért a mállottság mértékét, annak mélységét meg kell határozni.

##### Fizikai jellemzők vizsgálata

A falazatok fizikai jellemzői nagy hatással vannak a szerkezet tartósságára, ismeretük elengedhetetlen a meglévő szerkezeti anyagokkal összeférhető rehabilitációs megoldások megtervezéséhez. A fizikai jellemzők közül elsősorban a porozitás és a vízfelvétel mértékének meghatározását tekintjük a legfontosabbaknak.

##### Mechanikai jellemzők megállapítása

Felületi vizsgálattal (pl. kihúzóvizsgálat) lehetőség van a közet szilárdságának közelítő meghatározására (becslésére) is, de hangsúlyozni kell, hogy így csak a felületen való észlelés miatt a közettömbök valódi szilárdságára csak következtetni lehet, így az a módszer az esetek többségében nem megbízható.

A falazat anyagának mechanikai paramétereit roncsolásos vizsgálattal lehet legpontosabban meghatározni. A roncsolásos vizsgálatok hátránya, hogy alkalmazásuk esetén a szerkezet károsodik, ezért számát lehetőség szerint csökkenteni kell. Viszonylag kis roncsolással jár az 50mm átmérőjű fúrt magmintákon végrehajtott szilárdsági vizsgálat. A magmintákat az anyagi összetétel és fizikai jellemzők vizsgálatára is fel lehet használni, illetve a fúrt lyukon keresztül videoendoszkópos vagy lyukkamerás vizsgálatot végrehajtani a szerkezet belső állapotának és méreteinek vizsgálatára. A vizsgálat során a falazat szilárdságát az alkotóelemek szilárdságából lehet meghatározni. A habarcsok szilárdságának vizsgálatára a legtöbb esetben nincs lehetőség, ezért azt az összetétel ismeretében lehet becsülni.

Az egyéb mechanikai jellemzők közül a falazatok alakváltozási tényezőjének (rugalmassági modulus) ismerete szükséges néhány szerkezet modellezési eljárás használatához. Löttbeton kéreggel történő megerősítés esetén a löttbeton kéreg alakváltozási tényezőjét a lehető legjobban a meglévő szerkezeti anyag hasonló jellemzőihez kell igazítani.

##### Tapadószilárdság vizsgálata

Egyes megerősítési eljárások technológiai megtervezéséhez szükség lehet a falazat tapadószilárdságának ismeretére. A vizsgálatot a betonszerkezetekre alkalmazott módszerhez hasonlóan kell végrehajtani.



#### 1.1.4.2 Speciális diagnosztikai eljárások

A boltozott hidak a környezetükkel (pl. háttöltés, feltöltés, altalaj) kölcsönhatásban alakították ki teherviselő rendszerüket, amely rendszer egy jelentős része takarva van a szokványos diagnosztikai eljárások számára. Sajnálatos módon ennek az eltakart résznek a tulajdonságai jelentős hatással vannak a boltozat viselkedésére, így a megbízható szerkezeti modellezéshez nem lehet eltekinteni bizonyos „rejtett” tulajdonságok vizsgálatával történő meghatározásától.

Az utóbbi időben egyre szélesebb körben terjed a roncsolásmentes vagy kis roncsolású szerkezetdiagnosztikai módszerek alkalmazása. Ezek a módszerek elsősorban nem az alkotóanyagok szilárdsági tulajdonságairól, hanem a boltozat felületi inhomogenitásáról, belső kapcsolati hiányosságairól, repedéseiről, zárványairól, a boltozati gyűrűk egymástól való esetleges elválásáról, egyéb rejtett geometriai viszonyokról, valamint a háttöltés jellemzőkről szolgáltathatnak hasznos információkat. A roncsolásmentes vizsgálatok elsősorban a szerkezet egészére egy minőségi jellemzőt mutatnak, a mechanikai paramétereket csak közelítőleg képesek meghatározni. Természetesen ez a minőségi jellemző kiválóan kiegészíti a hagyományos vizsgálati módszerekkel nyert információkat, sőt nagy segítséget nyújt a szokványos vizsgálatok helyének és szükséges gyakoriságának megállapításához.

A kis roncsolással járó módszerek alkalmazása esősorban a falazat mechanikai jellemzőinek, illetve azok szerkezeten belüli anomáliáinak meghatározását célozzák meg. A módszerek előnye, hogy értékes információt szolgáltatnak a szerkezet teherbírásának és állapotának értékeléséhez viszont nem járnak nagy mértékű roncsolással. Hátrányuk, hogy csak a vizsgálati helyek környezetnek vagy felületének jellemzőit mutatják.

A roncsolásmentes módszerek segítségével elsősorban egy áttekintő képet kaphatunk a szerkezet állapotáról. Egyes módszerek nagy behatolási mélysége lehetővé teszi, hogy kívülről nem mérhető rejtett geometriai és anyagi tulajdonságokat is megállapítsunk. A módszerek általános hátránya a mért adatok nehézkes kiértékelése, valamint az a tény, hogy jelenleg még nem lehet megbízható korrelációt találni a szerkezet mechanikai jellemzői és a roncsolásmentes vizsgálatokkal nyert adatok között.

<b>Vizsgálat lyukkamerával és videoendoszkóppal</b>	
Leírás:	A vizsgálat során kis átmérőjű (általában 25-50mm) fúrt lyukakon keresztül kamerát helyeznek a szerkezetbe. A kamera mozgatásával képet kaphatunk a szerkezet belső állapotáról. A vizsgálati eredményeket célszerű digitális formában rögzíteni.
Mért eredmények felhasználása:	Szerkezeti vastagság és rejtett szerkezeti jellemzők megállapítása, Szerkezeti anyagok minőségének és típusának megállapítása, Információ a szerkezet rétegzettségéről (pl. többgyűrűs szerkezet), üregek jelenlétéről, falazat állapotáról, szerkezet mögötti töltés viszonyokról, stb.
Megjegyzés:	A vizsgálat viszonylag egyszerű, gyorsan kivitelezhető. Hátrány, hogy csak helyi viszonyok feltérképezésére alkalmas, ezen kívül fúrólyuk nélkül nem alkalmazható, ami kismértékű roncsolással jár.

<b>Felületi szilárdságmérés kihúzó vizsgálattal (Pull-out test)</b>	
Leírás:	Az eljárás a falazatba fúrt, vagy belőtt csapszegek kihúzásához szükséges erő és a falazat szilárdsága közötti összefüggésen alapszik. A szilárdság a csapszeg behatolási, vagy behelyezési mélysége és a kihúzóerő arányából kalibrációs összefüggések segítségével állapítható meg.
Mért eredmények felhasználása:	A falazat felületi nyomószilárdságának közelítő megállapítása, A falazat felület állapotának megállapítása.
Megjegyzés:	A vizsgálat viszonylag egyszerű, gyorsan kivitelezhető, így nagy felületek vizsgálatára is alkalmas. Hátrány, hogy kizárólag a felszín közeli jellemzőkről ad információt. Habarcs szilárdságának megállapítására nem alkalmazható megbízhatóan.

<b>Vizsgálat georadarral</b>	
Leírás:	A vizsgálatot földtani kutatásoknál is alkalmazott radarral végzik. A georadar felvételen reflexiókat okoznak egyrészt az eltérő tulajdonságú rétegek határai, amelyek követhetők a mérési vonal mentén, valamint egyéb szerkezetbe ágyazott objektumok, melyek általában jellegzetes, hiperbola alakú diffrakciót hoznak létre. A reflexiók az időtartományban jelentkeznek, amelyek mélység meghatározása a hullámterjedési sebesség ismeretében végezhető el.
Mért eredmények felhasználása:	A szerkezet dielektromos jellemzőinek anomáliái utalhatnak - belső üregek jelenlétére, - nedvesség ill. sótartalom anomáliáira, - szerkezeti rétegzettségre, - egyéb fizikai-kémiai jellemzők anomáliáira. A radarvizsgálatok alkalmasak továbbá építményrész vastagságának meghatározására is, amennyiben a hullámok terjedési sebessége ismert.
Megjegyzés:	- A vizsgálat áttekinthető képet ad a szerkezet inhomogenitásairól, erősen nedvesedő helyeiről, belső üregeiről. - A vizsgálat eredmények elsősorban minőségi jellemzőt adnak, konkrét anyagjellemző nem származtatható belőlük. - A mérés sikeressége jelentősen függ a peremfeltételektől, így csak gyakorlott szakember végezheti. - A radarvizsgálatot célszerű más vizsgálatokkal is kombinálni, pl. lyukkamerás vizsgálat.

<b>Vizsgálat infravörös hőmérsékletméréssel</b>	
Leírás:	A termográfia azt a jelenséget használja ki, hogy a testek elektromágneses hullámkibocsátása és a felületi hőmérsékletük között összefüggés található. A vizsgálatához általában külső hőmérséklet ingadozását használják fel, mint például a napi hőmérséklet ingadozásai vagy a napsugárzás által okozott felületi felmelegedés A vizsgálatot infravörös hőmérséklet mérésre alkalmas kamerával végzik. A hőfelvételeken a hőmérsékletkülönbségek az eltérő hővezető-képességű részek – ilyenek a hibák és leválások helyei, átázási helyek – miatt jelentkeznek.

Mért eredmények felhasználása:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falazat felületi minőségének megállapítása,</li> <li>- Leváló részek és felület-közeli üregek helyeinek megállapítása,</li> <li>- Mállott helyek feltérképezése,</li> <li>- Átnedvesedő helyek feltérképezése.</li> </ul>
Megjegyzés:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A vizsgálat áttekintő képet ad a hídfelület inhomogenitásairól, erősen nedvesedő helyeiről, felület közeli üregeiről.</li> <li>- A vizsgálat eredmények elsősorban minőségi jellemzőt adnak, konkrét anyagjellemző nem származtatható belőlük.</li> <li>- A mérés sikeressége jelentősen függ a peremfeltételektől, így csak gyakorlott szakember végezheti.</li> </ul>

<b>Szeizmikus vizsgálat</b>	
Leírás:	<p>Az eljárás hanghullámok terjedési sebességének regisztrálásán alapszik. Egy hullám generátor (pl. kalapács) által keltett hanghullámokat a szerkezet előre meghatározott pontjain regisztráljuk (vevők). A hullám generálásának több helyen történő megismétlése, valamint a hullámok időbeli lefutásának egyszerre több ponton történő regisztrálás lehetővé teszi, hogy a hullám terjedési sebességéről és annak szerkezeten belüli anomáliáiról egy áttekintő képet kapjunk. A hullám terjedési sebesség és a falazat fizikai jellemzői (pl. testsűrűség, dinamikus alakváltozási tényező, harántkontrakciós tényező, stb.) között összefüggés található.</p>
Mért eredmények felhasználása:	<p>Belső üregek, folytonossági hiányok, repedések feltérképezése, Geometriai jellemzők megállapítása, Beavatkozások (pl. injektálás) hatékonyságának vizsgálata.</p>
Megjegyzés:	<p>Az eljárás előnye, hogy nagy a behatolási mélysége és a lokális jellemzők mellett a szerkezet egészéről ad egy áttekintő képet. A szeizmikus szelvényadatok kiértékelése viszont falazat esetében a sok reflexió miatt nehézkes és komoly szakértelmet igényel. A többcsatornás regisztrálási lehetőség, az anyagok nagyobb sebesség változása, stb. miatt általában összetettebb kiértékelő rendszert igényel mint a radarvizsgálat esetében.</p> <p>A mért adatokból nehezen lehet a falazat mechanikai jellemzőire következtetni.</p> <p>A különböző falazat típusokra külön kalibrációs vizsgálatokat kell végezni.</p>

<b>Lézeres alakmeghatározás</b>	
Leírás:	<p>Az eljárás során egy adott pontra felállított, számítógéppel vezérelt lézeres távolságmérőt működtetnek, amelynek segítségével egy előre meghatározott adatvételi sűrűséggel pontos képet kaphatunk a boltozat geometriai alakjáról illetve deformációjáról. A mért távolsági adatokat a műszer egy számítógéphez továbbítja, amelyek további elemzése egy program segítségével történik.</p>
Mért eredmények felhasználása:	<p>Szerkezeti alak pontos megállapítása, Deformációk időszakonkénti nyomon követése.</p>
Megjegyzés:	<p>Az eljárás igen egyszerű és gyors. Az elérhető mérési pontosság általában elegendő boltozatok vizsgálatára.</p> <p>A mért adatok igen fontosak a szerkezet teherbírásának megállapításában, különösen a deformációval bíró boltozatok esetében.</p>

## **1.2 A rehabilitáció tervezésének alapelvei**

### *1.2.1 A teherbírási tartalék kiaknázhatósága*

Régi téglá és kőanyagú boltozott hidak teherbírási tartaléka elsődlegesen magában az anyagi összetételben keresendő. A boltozat ugyanis viszonylag merev blokkokból (tégla, kő), valamint a blokkok közötti lágyabb anyagból (habarcs) áll. Régi hidak esetében a fűgahabarcs porozitása révén jóval lágyabb anyagú, mint a blokkokat alkotó téglák, kövek, ezen felül rendelkezik számos más olyan tulajdonsággal is, amely a szerkezet számára lehetővé teszi viszonylag nagy alakváltozások különösebb károsodás nélküli elviselését, illetve túlterhelés esetén magában rejti a gyors feszültségátrendeződés lehetőségét [2]. A kedvezően nagy alakváltozó képesség nagy energia elnyelésre teszi alkalmassá a boltozatot. Mindehhez adódik a feltöltés ill. háttöltés támasztó hatása, különösen nagy terhelések esetén passzív ellenállás formájában, valamint a homlokfalak merevítő hatása. Az említett teherbírási tartalék azonban csak abban az esetben mobilizálható, ha a szerkezetnek lehetősége van oly módon alakváltozni, amely révén ez a képlékeny energia elnyelő képesség kihasználható. Amennyiben a boltozat kritikus helyein nagymértékű károsodások vannak jelen (pl. repedések, zárványok, mély kifagyások, blokkok közötti nem megfelelő kapcsolat, stb.), úgy a szerkezet hajlamossá válik rideg módon végbemenő tönkremenetelre, jelentősen lecsökkentve ezzel a szerkezeti biztonságot. Hasonlóan romlik a helyzet abban az esetben is, amikor a boltozat nincs oldalirányban kellően megtámasztva, illetve ha az alapok egyenlőtlen süllyedése következtében az említett energia elnyelő képesség nagy része már a süllyedések áthidalására fordítódott.

### *1.2.2 Rehabilitáció a meglévő kapacitás kihasználásával*

A hagyományos megerősítési módszerek, a meglévő teherbírás ismeretének hiányában, általában arra irányulnak, hogy a meglévő boltozat terheit (vagy annak túlnyomó részét) egy újonnan beépített szerkezetnek adják át. Ez lehet például a boltozat fölé beépített vasbeton nyereg, vagy a külső felületen kialakított viszonylag vastag, dupla vasalással ellátott, kellően lealapozott löttbeton bélelés.

Amennyiben a szerkezet meglévő teherbírása igazolható, a megerősítési megoldásnak (amennyiben erősítés egyáltalán szükséges) elsősorban a mértékadó tönkremeneteli mechanizmusok kialakulását kell hátráltatnia oly módon, hogy a kritikus helyeken gátolja a boltozat káros mértékű alakváltozásait. Ez lehetséges például nagy energia elnyelő képességű vékony erősítő kéreg alkalmazásával, háttöltés injektálással, az alapok stabilizálásával, a keresztirányú merevséget növelő részek (pl. homlokfalak) újra együttdolgoztatásával a boltozattal, vagy a gyengült, repedezett részek környezetének megfelelő anyaggal történő injektálásával.

### *1.2.3 A hatékony rehabilitáció anyagai*

Tekintettel arra, hogy a régi téglá/kő boltozatok több évtized, esetleg évszázad óta harmonikus egyensúlyban működnek környezetükkel, nem célszerű olyan anyagok alkalmazása, amely ezt a rendet felboríthatja. Kerülni kell többek között az olyan megoldásokat, amelyek nagymértékben megváltoztathatják a szerkezet belső

(valamint a szerkezet és környezete) merevségi viszonyait. Ez ugyanis nem várt feszültségátrendeződésekhez és új repedések kialakulásához vezethet. Fontos ezen kívül, hogy alkalmazkodjunk a szerkezet meglévő kémiai-fizikai adottságaihoz. Példaként említhetjük itt meg a páradiffúziós jellemzők kompatibilitásának fontosságát, ellenkező esetben a boltozat belső eróziós folyamatai felgyorsulhatnak. Ugyancsak kiemelt jelentőséggel bír az összeférhetőségi és inhomogenitási problémák gondos kezelése, tekintettel arra, hogy a vázolt műszaki megoldásoknál olyan anyagok együttműködését követeljük meg, amelyek nemcsak korban, hanem esetleg a teher alatti viselkedésükben is alapvetően különböznek. Mindez a megerősítés során felhasznált anyagok oldaláról egy nagyfokú toleranciát igényel egyrészt az alakváltozások egyeztetetősége, másrészt a meglévő boltozat anyagjellemzőinek szokásosnál nagyobb variabilitása miatt.

### **1.3 Boltozat rehabilitációs megoldások**

#### **1.3.1 A meglévő szerkezettel együttműködő vékony löttbeton kéreg**

A boltozattal együttműködni képes vékony erősítő kéreg (pl. löttbeton vagy löttbaracs) a szerkezet merevségének kismértékű növelése mellett egy áthidaló szerepet is betölt, amely a sérült, berepedt részek teherviselésbe való jobb bevonását és a boltozat térbeli rendszerként való hatékonyabb működését eredményezi.

A boltozattal együttműködő erősítő kéregtől számos követelménynek való egyidejű megfelelést kell elvárnunk. A legnagyobb kérdés az, hogy miképpen lehet az erősítő kéreg tulajdonságait a meglévő falazott szerkezetéhez úgy igazítani, hogy az együttműködés tartósan biztosítható legyen. Mindenekelőtt biztosítanunk kell azt, hogy az új réteg mechanikai és fizikai tulajdonságai ne térjenek el jelentősen a meglévő felület anyagától. Különösen nagy kihívást jelent ez egy inhomogén anyagú falazatra utólag felvitt, általában nagyobb alakváltozási tényezőjű betonréteg esetében. A merev kéreg és az eredeti falazott felület között ugyanis a két réteg elválását okozó nyírófeszültségek alakulhatnak ki. A nyíró-, vagy más szóval csúsztató feszültségek úgy mérsékelhetők leginkább, ha a kéreg és az eredeti felület anyagainak alakváltozásait a lehető legnagyobb mértékben egymáshoz igazítjuk. Ez falazott boltozatok erősítése esetén az alkalmazott löttbeton alakváltozási tényezőjének csökkentését igényli például speciális, alacsony merevségű adalékanyagok, polimer, illetve a száladagolás révén. Fontos ezen kívül az is, hogy a beton visszafordíthatatlan törési folyamatai csak viszonylag magas alakváltozás mellett induljanak meg, így kellően 'toleránsan' lesz képes a meglévő felület változásait követni.

Javul az együttműködés azáltal, hogy a javítóréteg vastagságát csökkentjük, így a támaszvonál nagy külpontossága esetén is mérsékelt nagyságú csúsztató feszültségek keletkeznek a kapcsolati réteghatáron. Számolnunk kell továbbá azzal a hatással is, hogy az elkerülhetetlen zsugorodás és az esetlegesen számottevő lassú alakváltozás miatt, a betonban nyomófeszültségek csak magasabb teherszinten lesznek képesek kialakulni. A zsugorodási repedések áthidalása és kialakulásának késleltetése elérhető műanyagszál adagolással.

Kiemelt jelentősége van a megfelelő felület előkészítésnek is. Elsősorban a laza, könnyen leváló részek eltávolításáról kell gondoskodni, például homokszórással. Bár a homokszórás jelentősen javíthatja a lőttbeton, vagy lőtthabarc kéreg felületi tapadását, a továbbiakban jelentkező esetleges átázások miatt erre a hatásra csak óvatosan szabad számítani. Jóval hatékonyabb felületi lehorgonyzást eredményez a vékony kéregnek a külső, laza fugázat eltávolítása révén keletkező hézagokba való beékelődése és a megfelelő sűrűségű bekötő csapok, vagy tiplik elhelyezése.

A lőttbeton kéreg erősítése történhet vékony, sűrű hegesztett háló beépítésével, vagy teherviselő szálak adagolásával. Az erősítés feladata a vékony kéregben keletkező esetleges húzófeszültségek felvétele, a kéreg húzási alakváltozási képességének növelése, a repedések korlátozása, valamint a kéregnek a falazattól történő elválásának megakadályozása. Hegesztett háló alkalmazása esetén ügyelni kell a megfelelő betonfedésre és a szerkezettől való távolságtartásra. A lőttbeton maximális szemnagyságát a hegesztett háló ráctávolságának függvényében kell meghatározni. Teherviselő szálak alkalmazása esetén igazolni kell, hogy a száladagolás mennyisége elegendő a megfelelő hajlító húzószilárdság és szívóssági index biztosításához.

### *1.3.2 Boltozat repedéseinek áthidalása rozsdamentes spirálacéllal*

A szerkezeti integritás biztosítása szempontjából kedvező hatás érhető el olyan megoldás alkalmazásával, ami bizonyos mértékben lehetővé teszi az erőátadódást a repedéseken keresztül. Ilyen megoldás a repedések rozsdamentes spirálacéllal történő áthidalása, amely hajlékonysága révén nem jelent drasztikus beavatkozást a meglévő szerkezeti rendszerbe, viszont segít stabilizálni a beavatkozás utáni állapotot. A spirálacél jó tapadást biztosít a megerősített felülettel, magas szilárdságú, de ezzel egy időben alacsony merevségű. Így a rendszer egy rugalmas megerősítést biztosít a falazatnak, amely helyreállítja a szerkezet eredeti állapotát úgy, hogy többletfeszültségeket nem visz a rendszerbe. Ezáltal a megerősítések helyén nem keletkeznek újabb repedések, az elemek idővel nem lökődnek ki a szerkezetből.

### *1.3.3 Boltozat rehabilitációja injektálással*

A boltozat injektálásával lényegében kétféle kedvező hatást érhetünk el. A repedések, folytonossági hiányok, valamint a meggyengült fugázatu részek kipótlásával növelhető a boltozat homogenitása, másrészt csökken a vízáteresztő képessége. Az injektálás során a falazat szilárdságának növelése helyett inkább a folytonosság helyreállítását, valamint az elváló részek együttműködésének elősegítését kell megcélozni. Kedvező hatásként jelentkezik emellett, hogy az injektált falfelület jobb tapadást biztosít a felületre kerülő lövellt betonkéreg számára is.

Az injektáló anyagok megválasztásakor rendkívül körültekintően kell eljárni annak érdekében, hogy biztosítható legyen a meglévő szerkezettel való kompatibilitás a fizikai, kémiai és mechanikai jellemzőkben, illetve a megfelelő injektálhatóság. Az injektálást követően is meg kell őrizni a szerkezet eredendően jó képlékeny alakváltozó képességét. Nem szabad olyan anyagokat használni, amely hirtelen merevségváltozásokhoz vezethet, mert így fennáll a veszélye további repedések

kialakulásának és a rideg tönkremeneteknek. Lényeges, hogy a meglévő falazat anyagaival (tégla, kő, fugázat) jó tapadás tudjon kialakulni, amely nedvesedés és dinamikus hatások mellett is időtálló. Fontos továbbá, hogy az injektálás révén ne avatkozzunk be túlságosan a szerkezet meglévő páraháztartásába. Az említett követelményeknek eleget tevő, nem túl magas költségigényű injektáló rendszer alakítható ki többek között hidraulikus mész és trassz alapú anyagok felhasználásával.

A boltozat megerősítés hatékonyságának egyik kulcseleme a vízszigetelés helyreállítása. Mivel a boltozat feletti ágyazat és feltöltés ideiglenes eltávolítására a legtöbb esetben nincs lehetőség, ezért a vízszigetelés megoldásának egy lehetséges módja a feltöltés, valamint háttöltés intrados felőli injektálása, például poliuretán habbal, vagy géllal. Az injektáló anyag összetételének, mennyiségének megállapítását, valamint az injektálási helyek megtervezését célszerű próbainjektálással és diagnosztikai módszerekkel előkészíteni.

#### *1.3.4 A boltozat háttöltésének injektálása*

A háttöltés injektálásának kedvező hatása lehet a boltozat stabilitásának növelése szempontjából azáltal, hogy az injektált háttöltés nagyobb merevsége révén nagyobb passzív ellenállást biztosít a boltozat számára, ezen kívül a teherelosztás szempontjából is rendkívül kedvező hatást eredményezhet.

A háttöltés állapotától függően az injektálás történhet például különböző tulajdonságú könnyűbetonnal (habcementtel). A habcement tulajdonságait minden esetben a háttöltés anyagához, üreg és pórusszerkezetéhez, valamint a háttöltés szükséges erősítésének mértékéhez kell igazítani. Mivel az injektálás révén megváltozik a szerkezet oldalirányú megtámasztása ezért ennek hatását erre alkalmas számítási eljárásokkal vizsgálni kell.

A habcement előállításához bármilyen cement felhasználható. A cementfajta megválasztása a pórusos habcementtel szemben támasztott követelményektől függ. Ha a habcementet korán szükséges terhelni, akkor ajánlott CEM I 42, 5 R, sőt CEM I 52, 5 R cementet használni, ugyanis a kezdőszilárdság erősen függ a felhasznált cementfajtaától.

### **1.4 Falazott szerkezetek karbantartása és rekonstrukciója**

A falazott szerkezetek karbantartásának és rekonstrukciójának legfontosabb célkitűzése a szerkezet tartósságának biztosítása, a híd anyagát folyamatosan károsító kémiai és fizikai hatások okainak megszüntetése, valamint a híd anyagának az említett hatásokkal szembeni ellenállóbbá tétele.

A kőszerkezet szakszerű karbantartása az alábbi műveleteket kell, hogy tartalmazza:

#### *1.4.1 A kőszerkezetek hézagolásának javítása*

A természetes kövekből épített szerkezetek hézagainak tönkremenetele részint a kivitelezéskor elkövetett hanyagságokra (nem kellő mértékben és alaposággal kitöltött hézagok), részint a boltozott szerkezetek terhelés hatására bekövetkező

természetes mozgásaira, alakváltozásaira, rezgéseire és az ennek hatására bekövetkező hézagolóanyag-kihullásra vezethetők vissza. Előfordulhat a kőanyag mállásának következtében létrejövő hézagnövekedés is. Jelentősen rontja a helyzetet, ha elmarad a rendszeres karbantartás, a kihullott, kipergett hézagolóanyag szakszerű pótlása.

A hézagolás hiányosságából bekövetkező problémák mértéke jelentősen nő a nagyobb porozitású (kevésbé tömör) kőanyagok esetén. Ezeknél a szerkezeteknél gyakori hibák a kipergő hézagolóhabarcs révén keletkezett nyitott fuga rendszeres ázása és az ebből adódó következménykárok: szennyeződések lerakódása, fagykárok stb. Külön probléma a szakszerűtlenül javított szerkezetek hézagjainak helyreállítása, itt sok esetben a viszonylag puha kőanyagénál jelentősen nagyobb szilárdságú, merevebb hézagolóhabarcs beépítése okozza a problémát: az eltérő fizikai jellemzők a hézag melletti kőanyag összeropaszódásához, elmállásához vezethetnek.

Az új hézagoló habarcsot az eredeti kőanyaghoz illeszteni szükséges, a javító-hézagolóhabarcs az eredeti kőanyaggal férjen össze. A problémát általában az okozza, hogy egy régi szerkezeti anyaghoz kell új hézagolóhabarcsot hozzádolgozni. Az új habarcs összetételét úgy célszerű megválasztani, hogy fizikai jellemzői frissen megkötött állapotban, illetve hosszabb idő elteltével is a lehető leginkább közelítsenek a szerkezeti anyag jellemzőihez. A legfontosabb jellemzők:

- nyomószilárdság,
- rugalmassági modulus,
- fagyállóság,
- vízfelvétel,
- páradiffúziós ellenállás.

A javítóhabarcsok kötőanyaga a leggyakrabban mész és traszement, ritkán fehércementtel, szulfátálló cementtel és/vagy kevés műgyanta-diszperzióval adalékolva.

#### 1.4.2 A kőanyag felületvédelme

A kőanyagok felületvédelmét meg kell, hogy előzze a szerkezet, illetve a felület helyreállítása. A helyreállítás szokásos lépései a felülettisztítás, a kőanyagok szükség szerinti cseréje vagy pótlása. Mind a kőcsere, a betétezés és a javítás esetén igaz, hogy a kőanyaghoz illesztett, annak fizikai jellemzőit a legjobban megközelítő pótlóanyaggal, javítóhabarccsal kell a helyreállítást elvégezni.

A felületvédelem esetei:

- kőszilárdítás,
- hidrofóbizálás

##### Kőszilárdítás

A kőszilárdítás részben az alap-kőanyag javításához, részben a felületvédelemhez sorolható. Ha a teljes szerkezet nem is igényel kőszilárdítást, igen gyakori, hogy a felületen, vagy a hézagok környezetében mégis szükség lehet a kőanyag megerősítésére. A felületen akkor válhat ez szükségessé, ha az alap-kőanyag szilárdságprofilja csak a felület közelében mutat erőteljesebb csökkenést, azaz a felületközeli rétegek mállottabbak. Ilyen esetben a kőszilárdítással a felület további



lepusztulását lehet mérsékelni, vagy megállítani, illetve így lehet a kőanyagot további kezelésre (pl. hidrofóbizálás, bevonatolás) alkalmassá tenni. Gyakori, hogy a kőanyag felületén szennyeződés vagy közetátalakulás miatt kialakult keményebb kéreg alatt puhább, mállottabb réteg található (a szilárdságprofil a kőanyagban befelé haladva, akár több cm mélységben helyi csökkenést mutat). Ilyen esetekben – ha a kőanyag felülete mindenképpen megőrzendő – kőszilárdító szerrel a szilárdságingadozás csökkenthető, feltéve, hogy a kőszilárdító szer a csökkent szilárdságú részeket megfelelő behatolási mélységgel eléri.

#### Hidrofóbizálás

A hidrofóbizálás olyan vízfelvételt csökkentő, vízlepergető hatást eredményező kezelés, melyet a köfelület felszínén, illetve annak a felszínhez közeli rétegeiben alkalmazunk. A vízfelvétel csökkentése fontos szempont, ugyanis a víz sokféle formában támadja a kőanyagokat: pl. a szerkezetre hulló csapadékkal, a járművek és gyalogosok által felfröcskölt vízzel, a forgalom által felvert pára lecsapódásával stb.. Ha a vízfelvételt csökkentjük, akkor a vízzel együtt érkező káros anyagok, mint pl. a vízben oldott savanyú gázok (kén-dioxid, kén-trioxid, szén-dioxid, nitrogén oxidok), a vízben oldott sók (pl. az útszóró-sóként használt nátrium-klorid) sem tudnak a kőanyagokba hatolni és ott káros hatást kifejteni.

### **1.5 Számítási eljárások boltozatok megerősítésének tervezéséhez**

Boltozatok megerősítésének tervezéséhez elengedhetetlen a meglévő szerkezet teher alatti viselkedésének ismerete, valamint a megerősítési megoldás hatásának vizsgálata arra alkalmas számítási eljárások alkalmazásával. A szerkezeti modellezéshez és a méretezéshez speciális szoftverek alkalmazására van szükség.

#### *1.5.1 Végeelem módszerek*

A különféle végeelemes módszerek széles körben használatosak a szerkezetek erőtani számításában. A szerkezettervezésben elsősorban lineáris modelleket alkalmaznak, ami lényegesen egyszerűbb és gyorsabb a nemlineáris számításoknál. Sajnálatos módon a téglá,- és kőanyagú boltozatok modellezéséhez, a szerkezeti anyagok és a közöttük lévő kölcsönhatások jellegzetességei miatt, elsősorban repedések jelenlétét, képlékeny deformációkat és a nemlineáris hatásokat figyelembe vevő modellek alkalmazhatók, így a számítási munka és az adatbevitel jelentősen megnövekszik. Lineáris viselkedést feltételező modell elsősorban csak alacsony teherszinten (maximum a használati teher szintjén) és bizonyos feltételek mellett használható.

Az inhomogén anyagú falazott hidak számítására a végeelemes modellek alapvetően két megközelítése használatos. Az első megközelítésnél a falazatot a falazóelemek valamint a fugák révén diszkretizáljuk (mikro-modell). A falazóelemekre, a fugázatra különböző anyagmodelleket alkalmazunk, valamint ezek kölcsönhatását kontakt elemekkel írhatjuk le. A másik megközelítésnél a falazóelemek és a fugák jellemzőit „átlagoljuk” és egy olyan fiktív homogén anyaggal helyettesítjük, amely a falazatra, mint egészre jellemző (makro-modell). A falazatra célszerűen alkalmazott anyagmodellek általában hasonlóak a nemlineáris beton modellekhez, korlátozott képlékeny összenyomódási képességgel és a húzási ellenállást igen alacsony értékre beállítva. A boltozat mögötti töltés megfelelő

modellezése elengedhetetlen, ugyanis ez jelentősen befolyásolja a boltozat deformációit és stabilizáló hatása van. Vizsgálataink alapján a Mohr-Coulomb - féle talajmodell alkalmazása a legcélszerűbb. A boltozat és a töltés közötti kapcsolat modellezésére húzófeszültséget nem megengedő kontakt elemek alkalmazása javasolt.

A használati terhek szintjén a keresztirányú hatásoknak és a boltozat-homlokfalak kölcsönhatásnak igen nagy jelentősége van. A homlokfalak jelentősen merevíthetik a szerkezetet csökkentve ezzel az alakváltozásokat. Használhatósági vizsgálathoz és a használati terhek alatti szerkezeti viselkedés elemzéséhez így javasolt térbeli számítási modell alkalmazása. Teherbírasi határállapotban ugyanakkor a keresztirányú hatások jelentősége lecsökken, ugyanis magasabb teherszinten az eltérő merevségű részek csatlakozásánál törvényszerűen repedések képződnek, ami rontja az együttdolgozást. Így például a teherbírás kimerülésének közelében a homlokfalak legtöbb esetben már nem dolgoznak együtt a boltozattal. Ezek alapján nem követünk el túlzottan nagy hibát, ha a teherbírás kimerülésének folyamatát és a törőteher megállapítását egy síkbeli modellen követjük nyomon.

### 1.5.2 Diszkrét elemes módszerek

Az utóbbi időben egyre szélesebb körben terjed a diszkrét elemes módszerek alkalmazása a szerkezetek erőtani számításában. A diszkrét elemek módszere a nem-folytonos mikroszintű modellezés egy lehetséges módozata. A modell könnyen elkülöníthető, egymástól független helyváltoztatást végző diszkrét elemekből épül fel. A rendszer mechanikai viselkedését a különálló elemek mozgásfeltételei és a minden kapcsolatnál működő, elemek közötti erők, valamint a tömegerők határozzák meg. Ezek között az alapösszefüggést Newton mozgástörvényei adják meg.

A módszer előnye a végeselemes számítási eljárásokhoz képest, hogy a szerkezeti folytonosság megszűnése – pl. repedések képződése által – nem okoz konvergencia problémákat. A diszkrét elemek közötti kapcsolat, viszonylag egyszerűen adható meg, úgynevezett kontakt paraméterekkel. Mindez lehetővé teszi a különböző jellemzőkkel bíró szerkezeti részek egymásra hatásának, vagy akár elválásának modellezhetőségét.

### 1.5.3 A 'merev-blokk' módszer

A módszer alapelveinek kidolgozása *Heyman* [3] valamint *Gilbert és Melbourne* [4] nevéhez fűződik. A módszer a képlékenységtan határállapot vizsgálatával határozza meg a boltozat törőteher értékét, tökéletesen képlékeny anyagmodellt feltételezve a szerkezet anyagára. Az eljárás a kinematikai tételt alkalmazza, amely szerint bármelyik kinematikailag elégséges teherintenzitás nagyobb, mint a törőintenzitás vagy azzal legfeljebb egyenlő, tehát a legkisebb kinematikailag elégséges intenzitás egy felső korlátot ad a teherbírásra. A számítás során a szerkezetet a falazóelemek (blokkok) és a fugázat révén diszkretizáljuk, majd a blokkok közötti kapcsolatot véges értékű súrlódási tényezőkkel jellemezzük. A modell szerint az egyes blokkok között relatív elmozdulásokat definiálhatunk, illetve a kapcsolati jellemzőket a blokkok és a fugázat aktuális tulajdonságai alapján állíthatjuk be. A szomszédos blokkok relatív elmozdulásai révén a szerkezet 'belső munkát' végez, amely minden egyes teherszinten egyensúlyban van a külső terhek által a szerkezeten végzett 'külső

munkával'. A képlékeny teherbírési határállapotban a szerkezet egy törési mechanizmust alkot, amely általában négycsuklós mechanizmus vagy háromcsuklós mechanizmus oldalirányú elmozdulással, de kisebb nyílások esetenként nyírási-jellegű tönkremenetel is szóba jöhet. A vázolt módszerrel így igen látványos képet kaphatunk a boltozat lehetséges tönkremeneteli folyamatairól. A modellezés során lehetőség nyílik a blokkok véges törőszilárdsági értékeinek, továbbá helyenként változó értékű kapcsolati szilárdságok, meglévő szerkezeti repedések, fugahiány, alakhiányok, többgyűrűs szerkezeti kialakítás, valamint a boltozat-háttöltés kapcsolat jellegének reálisabb figyelembevételére. A számítás eredményeként minden egyes teherálláshoz egy szorzótényezőt kapunk, amely megmutatja, hogy az adott teher hányszorosát képes a szerkezet viselni ezen kívül meghatározza a legkedvezőtlenebb teherállást is.

(Megjegyzés: A módszer csak speciális esetekben és igen korlátozott mértékben alkalmas boltozatok megerősítésének tervezéséhez.)

## 2. Technológiai leírások

### 2.1 Boltozott hidak rehabilitációja nagy teljesítőképességű, szálerősítésű, rugalmas löttbeton kéreggel

Technológiai lépések:

<b>2.1.1 Felmérés, statikai vizsgálat, tervezés</b>	
<b>2.1.1.1 Hid geometriai felmérése</b>	Méretek meghatározása tervtári adatok alapján, Helyszíni felmérések a hiányzó méretek meghatározására, Torzult alak esetén lézeres hidprofilmeghatározás.
<b>2.1.1.2 Anyagvizsgálatok</b>	A falazat típusának és összetételének vizsgálata, Mállottság vizsgálata, Fizikai jellemzők vizsgálata (porozitás, vízfelvétel), Mechanikai jellemzők vizsgálata (szilárdság, alakváltozási tényező), Tapadószilárdság vizsgálata.
<b>2.1.1.3 Speciális vizsgálatok</b>	Speciális vizsgálatokra abban az esetben van szükség, ha a szerkezet geometria adottságai a tervtári adatokhoz képest megkérdőjelezhetők, illetve ha felmerül a gyanú belső 'rejtett' károsodások vagy anomáliák jelenlétére. Ilyenek lehetnek: <ul style="list-style-type: none"><li>- a boltozat (és ellenfal) vastagságának és anyagának változásai,</li><li>- a boltozat (és ellenfal) belső állapotának bizonytalanságai,</li><li>- a háttöltés típusának és állapotának bizonytalanságai,</li><li>- alapok állapotának bizonytalanságai,</li><li>- szerkezeti károsodások (repedések, üregek) jelenléte.</li></ul>
<b>2.1.1.4 Statikai vizsgálat</b>	A statikai vizsgálat célja a szerkezet meglévő teherbírási kapacitásának meghatározása, valamint a károsodások okainak felderítése. A vizsgálatra alkalmas számítási eljárások leírása az 1.5 pontban található.
<b>2.1.1.5 Tervezés</b>	A löttbeton vastagságát, összetételét, erősítését, bekötéseit az alábbi szempontok figyelembe vételével kell meghatározni: <ul style="list-style-type: none"><li>- Vegye figyelembe a szerkezet meglévő teherbírását és teherbírás növelési igényét,</li><li>- Igazodjon a meglévő szerkezet anyagához, merevségéhez, felületének állapotához,</li><li>- A meglévő szerkezettel legyen képes együttműködni.</li></ul>

### 2.1.2 Technológia, kivitelezés

<b>2.1.2.1 Felületelőkészítés</b>	A felület tisztítása és előkészítése száraz szabadsugaras szemcsefúvással. A löttbeton csak megfelelő tapadószilárdságú fogadófelületre hordható fel. A löttbetonozás megkezdése előtt a tapadószilárdságot ellenőrizni kell. Előírt kritérium: 1,5 N/mm <sup>2</sup> . Amennyiben ez nem valósul meg, a felületelőkészítést tovább kell folytatni a laza részek eltávolításával. Hegesztett hálós erősítést tartalmazó löttbeton kéreg esetén lehetőség van a háló behorgonyzására a javítandó felületbe. Ilyen esetben a tapadószilárdsági érték 1,5 N/mm <sup>2</sup> alatt is lehet, viszont ezt a háló bekötéseinek megfelelő kialakításával kell kompenzálni.
<b>2.1.2.2 Hegesztett háló</b>	Amennyiben a löttbeton kéreg nem tartalmaz teherviselő szálerősítést,

felerősítése	<p>vékony, hegesztett hálós erősítést kell alkalmazni. A repedéstágasság csökkentése miatt a háló átmérője ne haladja meg a 4mm és rácssűrűsége az 50mm-t.</p> <p>A hegesztett hálót megfelelő módon a javítandó felületbe kell kötni. A bekötések típusát, mélységét és sűrűségét a felület tapadószilárdságának és a kéreg vastagságának függvényében kell meghatározni és kihúzóvizsgálattal ellenőrizni. A háló bekötésére kétféle rendszer alkalmazható:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bekötés kb. 400 mm hosszúságú horgonyokkal. A horgonyok rozsdamentes, perforált acélcsövekből készülnek, rajtuk keresztül injektálás is végrehajtható, ami javítja az együttlőzést. Az ilyen bekötésekből m<sup>2</sup>-enként kb. 1-4 db-ot kell elhelyezni a horgonyok átmérőjétől, a felület minőségétől és a szerkezeti adottságoktól függően.</li> <li>2. Bekötés kb. 100-200mm hosszúságú, rozsdamentes acél dűbelekkel. A dűbelek típusát, átmérőjét és hosszúságát kihúzóvizsgálatok alapján kell meghatározni a tervezés során előírt kritériumok alapján.</li> </ol>
2.1.2.3 Lőttbetonozás	<p><u>A lőttbeton összetétele:</u> A lőttbeton összetételét az alábbi szempontok alapján kell meghatározni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- a maximális szemnagyság igazodjon a szerkezeti vastagsághoz, az alkalmazott hálóerősítés rácstávolságához, valamint szálerősítés esetén a szálak hosszúságához.</li> <li>- A beton E modulusa ne térjen el jelentős mértékben a meglévő szerkezeti anyag E modulusától.</li> <li>- Kellő szilárdsággal és tartóssággal rendelkezzen.</li> <li>- Megfelelő tapadást biztosítson a javítandó felülethez.</li> </ul> <p>Teherviselő szálakat tartalmazó lőttbeton esetén a száladagolást az alapján lehet meghatározni, hogy mekkora húzófeszültséget kell a lőttbeton kéregnek felvenni, valamint mekkora alakváltozó képességgel rendelkezni. Szálerősítésre elsősorban acélszálak a legalkalmasabbak, de kedvező tulajdonságok érhetők el PP szálak alkalmazásával is.</p> <p>Szálerősítésű lőttbetonnál az alábbi paraméterek vizsgálata szükséges: nyomószilárdság, egyenértékű hajlító-húzó szilárdság, szívóssági index, E modulus.</p> <p><u>A lőttbeton kéreg vastagsága:</u> A megfelelő együttlőzést elérése céljából a lőttbeton kéreg vastagsága nem lehet túlságosan nagy. Az optimális vastagság megállapítása a tervezés során, megfelelő számítási eljárásokkal történik. Hálós vasalás alkalmazása esetén a betonfedési és távolságtartási kritériumokat is figyelembe kell venni.</p> <p><u>Technológia:</u> A lőttbetonozás elsősorban száraz technológiával történik, előkevert anyagból, mert így jobban garantálható az előírt minőség.</p>
2.1.2.4 Utókezelés	<p>A betonozást követően a felületet nedvesen kell tartani, vagy műanyag bevonattal a kiszáradástól megvédeni.</p> <p>Sima felület igénye esetén simítást is kell alkalmazni.</p>
2.1.2.5 Egyéb technológiai lépések	<p>A lőttbetonozás hatékonysága és tartóssága érdekében a szerkezet átázását meg kell szüntetni. Ehhez az alábbi megoldások alkalmazhatók:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Szigetelés helyreállítása a boltozat felett.</li> <li>2. Vízkivezető csövek alkalmazása a szerkezet teljes átfűrésével (Az eltömődés veszélye miatt 100mm átmérő javasolható)</li> </ol>



## 2.2 Boltozott hidak rehabilitációja injektálással

### Technológiai lépések:

<b>2.2.1. Felmérés, statikai vizsgálat, tervezés</b>	
<b>2.2.1.1 Hid geometriai felmérése</b>	Méreték meghatározása tervtári adatok alapján, Helyszíni felmérések a hiányzó méretek meghatározására, Torzult alak esetén lézeres hidprofilmeghatározás.
<b>2.2.1.2 Anyagvizsgálatok</b>	A falazat típusának és összetételének vizsgálata, Mállottság vizsgálata, Fizikai jellemzők vizsgálata (porozitás, vízfelvétel), Mechanikai jellemzők vizsgálata (szilárdság, alakváltozási tényező).
<b>2.2.1.3 Speciális vizsgálatok</b>	Speciális vizsgálatokra abban az esetben van szükség, ha a szerkezet geometria adottságai a tervtári adatokhoz képest megkérdőjelezhetők, illetve ha felmerül a gyanú belső 'rejtett' károsodások vagy anomáliák jelenlétére. Ilyenek lehetnek: <ul style="list-style-type: none"><li>- a boltozat (és ellenfal) vastagságának és anyagának változásai,</li><li>- a boltozat (és ellenfal) belső állapotának bizonytalanságai,</li><li>- a háttöltés típusának és állapotának bizonytalanságai,</li><li>- alapok állapotának bizonytalanságai,</li><li>- szerkezeti károsodások (repedések, üregek) jelenléte.</li></ul>
<b>2.2.1.4 Statikai vizsgálat</b>	A statikai vizsgálat célja a szerkezet meglévő teherbírási kapacitásának meghatározása, valamint a károsodások okainak felderítése. A vizsgálatra alkalmas számítási eljárások leírása az 1.5 pontban található.
<b>2.2.1.5 Tervezés</b>	Az injektáló anyag összetételét, mennyiségét és az injektálási helyeket az alábbi szempontok figyelembe vételével kell meghatározni: <ul style="list-style-type: none"><li>- Vegye figyelembe a szerkezet meglévő károsodásait,</li><li>- Igazodjon a meglévő szerkezet anyagához, merevségéhez,</li><li>- Ne avatkozzon a meglévő szerkezet páradiffúziós folyamataiba,</li><li>- A meglévő szerkezettel legyen képes együttműködni.</li></ul>
<b>2.2.2 Technológia, kivitelezés</b>	
<b>2.2.2.1 Felületelőkészítés</b>	Az injektálás végrehajtása előtt a szerkezet repedéseit, fugáit ki kell tölteni, hogy ezeken keresztül ne tudjon az injektáló anyag eltávozni. Amennyiben korábban a szerkezet löttbeton kéreggel lett ellátva ez a technológiai lépés elhagyható.
<b>2.2.2.2 Próbainjektálás</b>	A próbainjektálás célja az injektáló anyag optimális konzisztenciájának, a várható anyagfelvétel, a szükséges pakker kiosztás és injektálási nyomás meghatározása. A próbainjektálást a szerkezet különböző mélységeiben kell végrehajtani. A próbainjektálás sikerességét fűrt mintákon és endoszkóppal kell ellenőrizni.
<b>2.2.2.3 Előfűrés</b>	Az elővizsgálatok és próbainjektálás eredményei alapján meghatározott kiosztásnak és mélységnek megfelelően injektálási lyukakat kell fűrni a szerkezetbe.
<b>2.2.2.4 Injektáló pakkerek elhelyezése</b>	A pakkereket megfelelő kiosztásban el kell helyezni. Célszerű csapokkal ellátott pakkerek alkalmazása, amelyek megnyitásával

	ellenőrizhető, hogy az injektáló anyag eljutott-e az adott helyre.
<b>2.2.2.5 Injektálás végrehajtása</b>	<p><u>Anyagválasztás:</u> Az injektáló anyag megválasztása az injektálás céljának megfelelően a 1.3.3 pontban leírt szempontok alapján történhet.</p> <p><u>Technológia:</u> Az injektálást több mélységben kell végrehajtani, attól függően, hogy mekkora a szerkezet vastagsága és milyen mértékű folytonossági hiányokat tartalmaz. Az injektálási nyomást általában alacsonyra kell választani, annak érdekében, hogy az injektáló anyag ne távozzon a szerkezetből és abban ne okozzon károsodást. Amennyiben a szerkezet korábban löttbeton kéreggel lett ellátva, az injektálási nyomás nagyobbra választható. Az injektálást mindig alulról felfelé kell végezni és az injektáló csapok esetenkénti megnyitásával ellenőrizni az anyag terjedését.</p>
<b>2.2.2.6 Minőség ellenőrzés</b>	Az injektálás sikerességét fúrt mintákon és endoszkóppal kell ellenőrizni.

<b>2.2.3 Referencia</b>	
<b>2.2.3.1</b>	Pécsbányarendező - Barcs vonal 31/32 sz., 1,20 m nyílású boltozott átereszt megerősítése, 1. sz. melléklet
<b>2.2.3.2.</b>	Pécsbányarendező-Magyarbóly vv. 32/33 szelvényben lévő téglaboltozatú híd megerősítése 2003, 2. sz. melléklet
<b>2.2.3.3.</b>	Budapest-Szentlőrinc vv. 1831/32 szelvényben lévő vasbeton boltozatú híd megerősítése 2004-2005, 1. sz. melléklet
<b>2.2.3.4.</b>	Budapest-Szentlőrinc vv. 1845/46 szelvényben lévő vasbeton boltozatú híd megerősítése 2005-2006, 1. sz. melléklet
<b>2.2.3.5.</b>	Mecsek-alja-Bicsérd vv. 179+45 szelvényben lévő 5,7m nyílású téglaboltozatú híd felújítása 2005, 1. sz. melléklet
<b>2.2.3.6.</b>	Nagygyimót-Pápa vv. 872+14 szelvényben lévő 2 m nyílású téglaboltozatú híd megerősítése 2005, 2. sz. melléklet
<b>2.2.3.7.</b>	Székesfehérvár-Celldömök vv. 668+34 szelvényben 1,2 m nyílású vasbeton szerkezetű 45 m hosszú átereszt megerősítése 2005-2006
<b>2.2.3.8</b>	Győr-Szabadhegy-Veszprém vv. 591+51 szelvényben 5,0 m nyílású kőboltozatú híd felújítása



## 2.3 Boltozott hidak rehabilitációja rozsdamentes spirálacéllal

### Technológiai lépések:

2.3.1 Felmérés, statikai vizsgálat, tervezés	
2.3.1.1 Anyagvizsgálatok	A falazat típusának és összetételének vizsgálata, Mállottság vizsgálata, Fizikai jellemzők vizsgálata (porozitás, vízfelvétel), Mechanikai jellemzők vizsgálata (szilárdság, alakváltozási tényező).
2.3.1.2 Speciális vizsgálatok	Speciális vizsgálatokra abban az esetben van szükség, ha a szerkezet geometria adottságai a tervtári adatokhoz képest megkérdőjelezhetők, illetve ha felmerül a gyanú belső 'rejtett' károsodások vagy anomáliák jelenlétére. Ilyenek lehetnek: <ul style="list-style-type: none"><li>- a boltozat (és ellenfal) vastagságának és anyagának változásai,</li><li>- a boltozat (és ellenfal) belső állapotának bizonytalanságai,</li><li>- a háttöltés típusának és állapotának bizonytalanságai,</li><li>- alapok állapotának bizonytalanságai,</li><li>- szerkezeti károsodások (repedések, üregek) jelenléte.</li></ul>
2.3.1.3 Statikai vizsgálat	A statikai vizsgálat célja a szerkezet meglévő teherbírási kapacitásának meghatározása, valamint a károsodások okainak felderítése. A vizsgálatra alkalmas számítási eljárások leírása az 1.5 pontban található.
2.3.1.4 Tervezés	A spirálacél átmérőjét, mennyiségét, kiosztását, lehorgonyzását az alábbi szempontok figyelembe vételével kell meghatározni: <ul style="list-style-type: none"><li>- Vegye figyelembe a szerkezet meglévő teherbírását és teherbírás növelési igényét,</li><li>- Legyen képes felvenni annyi húzóerőt, amennyi a szerkezeti repedések áthidalásához szükséges, de ne okozzon túlzott mértékű merevítést.</li><li>- Igazodjon a meglévő szerkezet anyagához, merevségéhez, felületének állapotához,</li><li>- A meglévő szerkezettel legyen képes együttműködni.</li></ul>

2.3.2 Technológia, kivitelezés	
2.3.2.1 Előkészítés	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Horonyvágás: A hornyokat horonyvágóval kell kialakítani, a horony mélysége 25 - 45 mm.</li><li>2. A hornyok tisztítása: kiporszívózás és vízzel való kiöblítés</li><li>3. A spirálok előkészítése (méretre vágás)</li><li>4. A ragasztó előkészítése és bekeverése</li></ol>
2.3.2.2 Spirálacél elhelyezése	<p><u>Anyagválasztás:</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- 304 vagy 316 típusú koracél spirálok (E modulus: 146 GPa, szakadó nyúlás: 4,6%),</li><li>- kétkomponensű, tixotróp, nem zsugorodó, gyorsan szilárduló injektáló habarcs.</li></ul> <p><u>Lehorgonyzás megoldása:</u></p> <p>A beépítendő spirálnak minimum 500 mm-rel kell túlnyúlnia a repedés mindkét oldalán (megj.: a spirálacél szálak lehorgonyzása a kövekbe történő befúrás és visszahajtás révén jelentősen javul, így ilyen esetben a lehorgonyzási hossz 350mm-re csökkenthető).</p> <p>A fő teherviselési irányban lévő spirálacélokat 1m-enként (de elsősorban a keresztirányú és hosszirányú acélok metszéspontjainál) a</p>

	<p>kőboltozat felületére merőleges irányban, kb. 60cm hosszon be kell kötni a boltozatba fúrt lyukakon keresztül.</p> <p><u>Technológia:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. a habarcskinyomó pisztolyt használva a horony aljára nyomjuk a ragasztót,</li> <li>2. behelyezzük a spirált és jól benyomjuk a ragasztóba.</li> </ol> <p><u>Furatba történő beépítés</u> esetén a technológiai lépések az alábbiak szerint alakulnak:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. a furat kifúrása a tervnek megfelelően (mélység, átmérő)</li> <li>2. furatok tisztítása – kiporszívózás és vízzel való kiöblítés</li> <li>3. a spirálok, a ragasztó és a habarcskinyomó pisztoly előkészítése</li> <li>4. a spirál és a ragasztó benyomása a furatba, az anyag és a spirál hosszúsága függvényében habarcskinyomó pisztollyal és a megfelelő csővel.</li> </ol>
<p><b>2.3.2.3 Minőség ellenőrzés</b></p>	<p>A spirálacélok megfelelő lehorgonyzását kihúzóvizsgálattal kell ellenőrizni.</p>

<p><b>2.3.3 Referencia</b></p>	
<p><b>2.3.3.1</b></p>	<p>Győrszabadhegy-Veszprém vasútvonal 591+51 sz. kőhíd rekonstrukciós munkái. /3.sz. melléklet/</p>
<p><b>2.3.3.2</b></p>	<p>Pécs – Magyarbóly 32/33 sz. téglaboltozatú híd repedéseinek átkötése és homlokfalának stabilizálása /3.sz. melléklet/.</p>

## 2.4 Kő és téglá anyagú boltozott hidak karbantartása és felújítása fugázással, kőpótlással, impregnálással.

### Technológiai lépések:

<b>2.4.1 Felmérés, statikai vizsgálat, tervezés</b>	
<b>2.4.1.1 Anyagvizsgálatok</b>	A falazat típusának és összetételének vizsgálata, Mállottság vizsgálata, Fizikai jellemzők vizsgálata (porozitás, vízfelvétel), Mechanikai jellemzők vizsgálata (szilárdság, alakváltozási tényező).
<b>2.4.1.2 Tervezés</b>	A beépítendő anyagokat minden esetben úgy kell megválasztani, hogy fizikai, kémiai és mechanikai tulajdonságaik tekintetében legyenek összeférhetők a meglévő szerkezet anyagaival.

<b>2.4.2 Technológia, kivitelezés</b>	
<b>2.4.2.1 Előkészítés</b>	1. A málló és cement alapú hézagolóanyagot el kell távolítani a felületről kézi-kisgépes módszerrel. 2. A felület tisztítása és előkészítése dolomit anyagú szemcsefúvással.
<b>2.4.2.2 Kőpótlás, téglapótlás</b>	(Amennyiben szükséges) A pótlásra használt kőanyag mechanikai és fizikai tulajdonságai nem térhetnek el a meglévő szerkezeti anyagétól. Javasolható az eredeti kőbányából származó kövek használata. Tégla pótlásra a szerkezeti anyagéhoz hasonló anyagot kell alkalmazni, vagy speciális, mészhabarcs alapanyagú téglapótló anyagot használni. Tégla és kőanyag pótlására beton, vagy cementhabarcs nem alkalmazható.
<b>2.4.2.3 Fugázás</b>	<u>Nagy porozitású kőszerkezetek esetén (pl. mészkő, homokkő):</u> A fugák visszaépítése természetes eredetű kőanyagokra hangolt, vízpára diffúziós, mésztufa alapú, kloridmentes, fagyálló fugahabarccsal. <u>Téglaszerkezetek esetén:</u> Speciális, mészhabarcs alapú, magas páradiffúziós átérésztő képességgel bíró hézagolóanyagot kell alkalmazni. <u>Kis porozitású, tömör kő falazóelemek esetén (pl. gránit):</u> Megengedett a cementhabarcs alapú hézagolóanyag alkalmazása.
<b>2.4.2.4 Tisztítás</b>	A kőfelületre került habarcs eltávolítása kiméletes dolomit szemcsefúvással.
<b>2.4.2.5 Hidrofobizálás</b>	(Amennyiben szükséges) A kőfelület bevonása hidrofobizáló mikroemulziós szilán/sziloxán mikroszemcséket tartalmazó anyaggal.

<b>2.4.3 Referencia</b>	
<b>2.4.3.1</b>	Győrszabadhegy-Veszprém vasútvonal 591+51 sz. köhid rekonstrukciós munkái. /4.sz. melléklet/
<b>2.4.3.2</b>	Pécs – Magyarbóly 32/33 sz. téglá boltozatú hid repedéseinek átkötése és homlokfalának stabilizálása /4 sz. melléklet/

## Hivatkozások

- [1] Orbán Z. (2005) "Vasúti boltozott hidak állapotvizsgálata és rehabilitációja",  
*Vasbetonépítés*, VII. évfolyam, 2. szám, pp. 72-79.
- [2] Boothby, T. (1997): "Elastic plastic stability of jointed masonry arches"  
*Engineering Structures*, Vol. 19, No. 5, pp. 345-351.
- [3] Heyman, J. (1982): "The Masonry Arch", *Chichester, New York, Holsted Press*.
- [4] Gilbert, M., Melbourne, C. (1994): "Rigid-block analysis of masonry structures",  
*The Structural Engineer*, 54(21), 356-361, 1994.
- [5] EFNARC (1999): '*European Specification for Sprayed Concrete*'.
- [6] ACI Committee 506 (1995): '*Specification for Shotcrete (ACI 506.2-95)*'.