

A TÖRÖKSZENTMIKLÓSI 800 VAGONOS GABONASILÓ MEGERŐSÍTÉSE PP MŰSZÁL-ADAGOLÁSÚ LÖVELLT BETONNAL



Dr. Almási József – Erdei György – Édes Imre – Koncz Lóránt – Dr. Orosz Árpád

Az 1967-ben épült vasbeton gabonasiló oldalfalain megjelent repedéseken bejutó csapadékvíz az üzemeltetést zavarta, az elégtelen teherviselő képesség és az acélbetétek korrózió elleni védelme, a felületvédelem felújítása is a javítást igényelte. A különböző megerősítési módszerek összehasonlítása alapján a hálós vasalással kialakított, műszál adagolású löveltt betonos külső köpeny alkalmazása mellett döntöttek. A repedések korlátozása érdekében a beton lövésének idejére a cellákat gabonával feltöltötték, így a külső kéregben lényegében húzófeszültség nem keletkezett. Új repedésáthidaló felületvédő bevonattal esztétikailag is kedvező megjelenést értek el.

Kulcsszavak: vasbeton siló, megerősítés, felújítás, löveltt beton, műszál adagolás, korrózió

1. ELŐZMÉNYEK

A törökszentmiklósi 800 vagonos vasbeton gabonasilót 1967-ben helyezték üzembe, terveit az IPARTERV készítette. A 18 db, 5 m átmérőjű kör alakú cellával és a hozzájuk csatlakozó géptérrel kialakított silótömb alaprajzi elrendezése az 1. ábrán látható. A vasbeton falak vastagsága a celláknál 14 cm, a géptoronynál 16 cm.

A köztes cellákat is gabona tárolására használják. A körcellák alsó részén kúp alakú, központos üritőnyílású vasbeton tölcseket készítettek, amelyek oszlopokkal alátámasztott vasbeton körgyűrűre fekszenek fel. A silótömböt csúszózsákkal készítették, két ütemben a 3-4 ill. 15-16 cellák között kialakított munkahézaggal. Miután a cellafalakban hajszálrepedések valószínű megjelenésére már a tervezés során számítottak, a külső felületre védőbevonatot hordtak fel. A csúszózsálat emelése közben a munkahézagoknál felszakadások, tömörítési hiányok jelentkeztek; ezeket építés közben igyekeztek kijavítani.

A siló néhány éves üzemelése után a cellafalakon függőle-

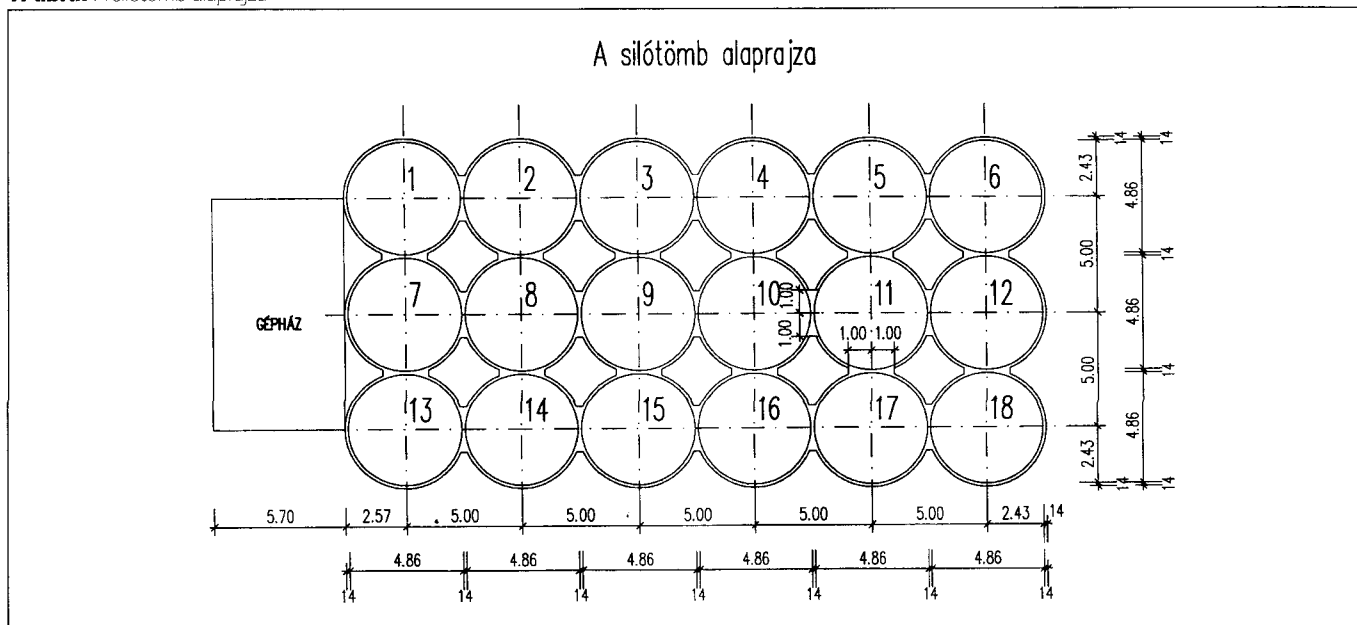
ges repedések jelentek meg, amelyek a magasság alsó harmadában sűrűsödtek, és ezeken keresztül a csapó eső hatására a cellák beáztak.

A mintegy három évtizedes használat során további meghibásodásokat, vízszintes repedéseket, az acélbetétek korrózióját tapasztalták, ezért részletes felülvizsgálatra került sor.

A diagnosztikai vizsgálatnak (Herkó, 1999) a vasbeton cellafalak állapotára vonatkozó legfontosabb megállapításai:

- A tervezett vasalás $2 \times \varnothing 8/25$ cm volt, és ezt a legtöbb helyen – de nem mindenütt – be is építették.
- Az acélbetétek betontakarása kevés (átlagosan 15 mm), ezért a megindult korrózió következtében leválások, feltáskásodások jelentkezték.
- A felületvédő réteg elöregedett, rideggé vált és felújításra szorult.
- Az egyes cellafalak meghibásodása lényegesen különbözik: egyesek tűrhető, míg mások igen rossz állapotban vannak, és javításuk nem halasztható.
- A beton szilárdsága általában kicsi (átlagosan C12) és egyenlőtlen, tömörsége változó és a beton fészkes.

1. ábra: A silótömb alaprajza



2. A MEGERŐSÍTÉS MÓDSZERÉNEK MEGVÁLASZTÁSA

Az Alföldi Gabonaipari Rt. vezetősége úgy döntött, hogy a javítás, ill. megerősítés módszerét pályázat alapján választja ki. A javasolt megerősítések:

- Külső és belső *acél abroncsok* felerősítése, amelyeket a cellák összemetsződésénél lévő „piskótába” kötnek be.
- Új, *belső vasbeton köpeny* beépítése.
- Külső lövellt vasbeton *köpeny* készítése
- Szénszálas lamellák felragasztása.

Az a) és b) megoldás lehetővé teszi a *részleges megerősítést*, azaz a legrosszabb állapotban lévő cellák megerősítésével kezdve, a *munkálatok időben elhúzhatók* a pénzügyi helyzetnek megfelelően.

A *külső vasbeton köpenyezés* esetében a részleges megerősítés, javítás, szakaszolás nehezen oldható meg, technológiai előnyei és gazdasági hatékonysága akkor érvényesül, ha az *egész silótömböt felújítják*.

A siló üzemeltetője a körülmények mérlegelése alapján végül a külső vasbeton köpenyezéssel való megerősítés mellett döntött és a kivitelezéssel az EKS-Service Kft-t bízta meg (Erdei 2001). A megvalósítási részletterveket a CAEC Kft. készítette.

3. AZ ERŐTANI ELLENŐRZÉS

3.1 A silóterhek meghatározása

A gabonasilókban tárolt anyagból származó ún. silónyomások számítására sokféle módszert alkalmaznak, ezek ismertetése és elemzése nem ennek a dolgozatnak a feladata. Jelen esetben az Orosz (1998) által javasolt eljárást választottuk az alábbi indokok alapján:

- A legismertebb Janssen-féle elméleten alapul.
- Mind a tárolási mind az ürítési állapotra megadja a nyomások értékeit.
- Összetartozó értékpárokat ad meg és így nemcsak függőleges, hanem ferde falak esetében is használható.
- Egyszerűen kezelhető és a biztonság oldaláról közelít.
- Olyan ideális ömlesztett anyagjellemzőket alkalmaz, amelyeknek figyelembe vételével a silóban *mindenféle mezőgazdasági szemestermény* tárolásából adódó erőjáték számítható és így a siló használhatósága nincs anyagfajtaához kötve az élettartama folyamán.

Az idealizált gabona fizikai jellemzői:

- térfogatsúlya: $g = 9 \text{ kN/m}^3$
- az oldalnyomás tényezője:
tárolás alatt: $k^t = 0,6$
ürítés alatt: $k^ü = 1,0$
- a falsúrlódás tényezője:
tárolás alatt: $m^t = 0,4$
ürítés alatt: $m^ü = 0,24$

A vasbeton cella geometriai adatai a következők.

A cellafal középfelületének átmérője: $D = 5,00 \text{ m}$
a belső átmérő: $D_b = 4,86 \text{ m}$
a falvastagság: $t = 0,14 \text{ m}$

A tárolt gabona magassága a tölcser felett $H = 27,0 \text{ m}$

A **határmélység**: tárolás ill. ürítés esetén is azonos, mivel

$$k^t m^t = k^ü m^ü$$

$$z_0 = \frac{D_b}{4k\mu} = \frac{4,86}{4 \cdot 1 \cdot 0,24} = 5,6 \text{ m}$$

A tárolt gabonából származó *silónyomások legnagyobb értékei* végtelen magas cella esetében:

• a tárolás alatt

a függőleges nyomás:

$$p_{v,\max}^t = \gamma z_0 = 45,5 \text{ kN/m}^2$$

a vízszintes nyomás:

$$p_{h,\max}^t = \gamma z_0 k^t = 27,3 \text{ kN/m}^2$$

a súrlódó nyomás:

$$p_{s,\max}^t = \gamma z_0 k^t \mu^t = 10,9 \text{ kN/m}^2$$

• ürítés közben

$$p_{v,\max}^ü = \gamma z_0 = 45,5 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{h,\max}^ü = \gamma z_0 k^ü = 45,5 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{s,\max}^ü = \gamma z_0 k^ü \mu^ü = 10,9 \text{ kN/m}^2$$

Tetszőleges mélységben a silónyomások a Janssen-képlettel számíthatók:

$$p(z) = p_{\max} \left(1 - e^{-\frac{z}{z_0}}\right)$$

z [m]	z/z ₀	1 - e ^{-z/z₀}	Silónyomások tetszőleges mélységben tárolás [kN/m ²]				ürítés [kN/m ²]
			P _v	P _h	P _s	P _h	
5	0,99	0,628	28,6	17,2	6,8	28,6	
10	1,97	0,861	39,2	23,5	9,4	39,2	
15	2,96	0,948	43,2	25,9	10,3	43,2	
20	3,95	0,981	44,6	26,8	10,7	44,6	
25	4,95	0,992	45,1	27,0	10,8	45,1	
27	5,34	0,994	45,2	27,1	10,8	45,2	

Felhívjuk a figyelmet arra, hogy e módszer szerint

$$p_v^t = p_v^ü = p_h^ü \quad \text{ill.}$$

$$p_s^t = p_s^ü$$

feltevessel élnek.

Jelen esetben csak a vízszintes nyomásokkal kell számolnunk, ennek magassága szerinti megoszlását a 2. ábra mutatja.

Az exponenciális nyomáeloszlás helyett Orosz (1998) javaslatára alapján a legnagyobb vízszintes nyomások eloszlását a $p_{h,\max}$ által meghatározott függőleges és az elméleti görbe érintőjének metszéspontját megadó, a kezdőpontból a z_0 határmélységig vezető egyenesekkel adhatjuk meg. Az elméleti nyomások e határoló egyeneseknél mindenütt kisebbek, így a közelítés a biztonságot szolgálja.

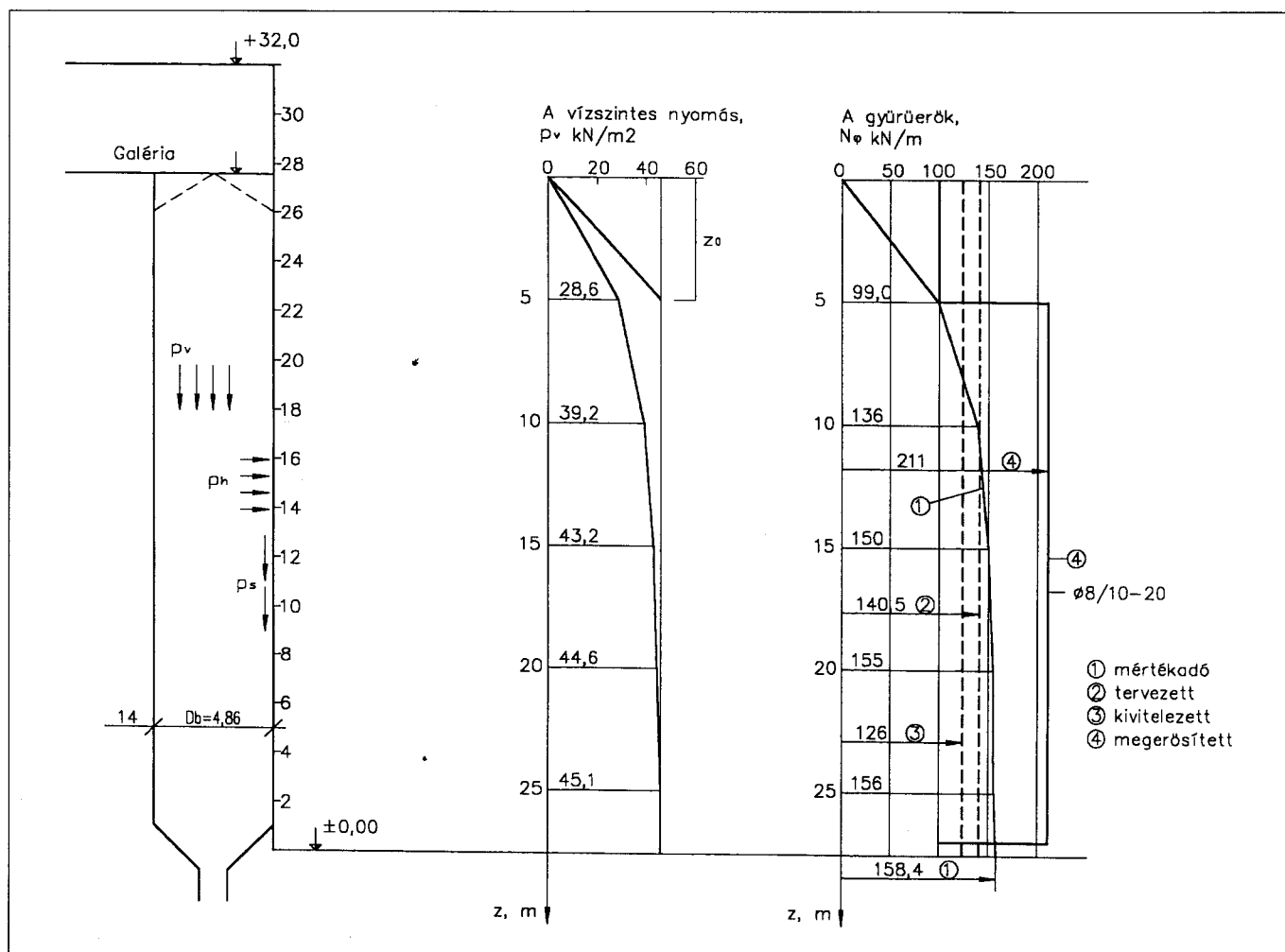
3.2 Az erősítés előtti állapot

3.2.1 A mértékadó és határerők

A cellafalakban fellépő húzóerő a kazánképlettel határozható:

$$N_{g\max} = n \cdot r_b \cdot p_{h,\max} = 1,3 \cdot 2,43 \cdot 45,5 = 144,0 \text{ kN/m},$$

ahol $n=1,3$ a biztonsági tényező,
 $R_b=2,43 \text{ m}$ a cella belső sugara.



2. ábra: A számított nyomások és gyűrűerők

A napi, ill. évszakos hőmérsékleti hatás közelítően az ürítési nyomás 10%-ára vehető fel, így a mértékadó gyűrűirányú erő:

$$N_{g,M} = 144,0 + 14,4 = 158,4 \text{ kN/m.}$$

Az eredetileg tervezett vasalási állapot:

$$2 \times \emptyset 8/25; A_s = 402 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Az acél jele: B 60.40, $s_{aH} = 350 \text{ N/mm}^2$
a határerő:

$$N_t^h = 402 \cdot 350 = 140,5 \text{ kN/m} < 158,4 \text{ kN/m}$$

a hiány mintegy 11%.

A kivitelezett cellafalakban a vasalás elrendezése - a feltárások szerint - ezzel közel azonos, azonban az acélbetétek keresztmetszete a korrózió miatt csak mintegy 10%-os csökkenéssel vehető figyelembe, így a tényleges határerő az

$A_s \approx 360 \text{ mm}^2/\text{m}$ vasalással számolva:

$$N_{gH}^k = 360 \cdot 350 = 126 \text{ kN/m} < 158,4 \text{ kN/m}$$

a hiány ~ 20%. Ilyen mértékű teherbírási hiány esetében már erőtanai számításra alapuló megerősítésre van szükség.

3.2.2 A repedésérzékenység

A repedésérzékenység ellenőrzésére a skandináv kutatók által javasolt módszert alkalmaztuk, amely szerint a silófal megfelelő, ha a k repedésérzékenységi mutató

$$k = \frac{A_{sh}}{D_b^2} \geq 0,24$$

ahol A_{sh} - az alkalmazott vízszintes vasalás [cm^2/m],

D_b - pedig a cellafal belső átmérője [m],

Jelen esetben a **tervezett** vasalással

$$k_t = \frac{4,02}{4,86^2} = 0,17 < 0,24$$

a **megelevő** vasalással pedig:

$$k_t = \frac{3,60}{4,86^2} = 0,15 < 0,24$$

azaz egyik esetben sem teljesül a javasolt repedésérzékenységi követelmény.

A repedésérzékenység szempontjából szükséges vasalás:

$$A_{s,r} = k \cdot D_b^2 = 0,24 \cdot 4,86^2 = 5,66 \text{ cm}^2/\text{m} > 3,60 \text{ cm}^2/\text{m}$$

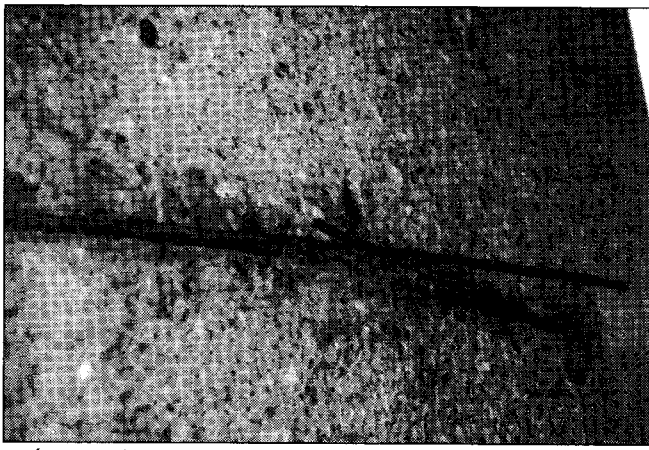
azaz mintegy 60%-os növelésre van szükség.

3.3 A megerősítés utáni állapot

Az acélbetétek mennyisége

A megerősítéshez szükséges acélbetétek mennyiségének meghatározása során két lehetőség közül kellett választani:

- a megelevő vasalás figyelembevétele és ehhez kiegészítő vasalás betervezése, vagy
- a teljes húzóerő felvételére alkalmas vasalás alkalmazása.



3. ábra: Az átfogásos toldások kinyílása

Az előzetes vizsgálatok során megállapították, hogy a beton szilárdsága viszonylag kicsi, és egyenlőtlen, a munkahézagoknál fészkes, a betontakarás nem megfelelő, a cellafal erőteljesen repedezett. Ezek alapján kétségesse vált a meglévő acélbetétek átfogásos toldásának hatékonysága. A ténylegesen beépített acélbetétek mennyiségével, ezek egymástól való távolságával kapcsolatban – a feltárások alapján – is agályok merültek fel. Ezek jogosságát a 3. és 4. ábrák szemléletesen igazolják. Jól látható, hogy a felület nagynyomású vízzel való tisztítása után, az elégtelen mértékű átfogásos toldások kinyíltak, a betontakarás levált, továbbá kiderült, hogy az acélbetétek egymástól való távolsága a tervezett 25 cm helyett, esetenként 40 cm – nál is nagyobb volt.

Így tehát tervezéskor olyan döntés született, hogy a meglévő vasalást figyelmen kívül hagyva, a teljes húzóerőt az új erősítő vasalás viselje.

A tervezett és beépített vasalás B60.50 jelű Ø8/10 – 20 hegesztett háló. Ennek keresztmetszeti területe $A_s=503 \text{ mm}^2/\text{m}$, a határerő:

4. ábra: A beépített acélbetétek távolsága



$$N_H = 503 \times 420 = 211,0 \text{ kN/m} > N_M = 158,4 \text{ kN/m}.$$

A repedésérzékenységi mutató:

$$k_t = \frac{5,03}{4,86^2} = 0,213 < 0,24$$

még így sem éri el a javasolt alsó korlátot, de közelebb van hozzá.

A hegesztett háló bekötése

A lövelt betonkéregben elhelyezendő hegesztett háló méreteit úgy választottuk meg, hogy függőleges toldásokra ne legyen szükség, – ezt a sarokcellák kivételével teljesíteni is lehetett.

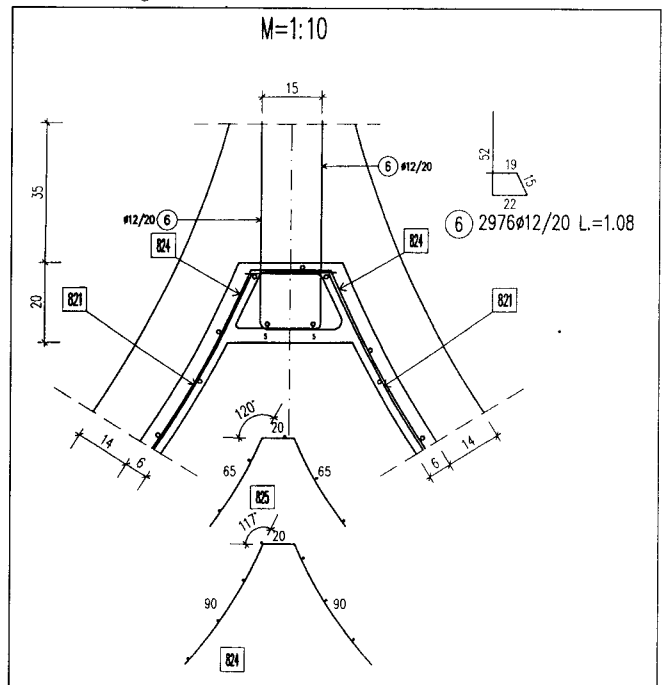
A cellák összemetsződésénél, a hegesztett háló bekötésének biztosítására a 5. ábra szerinti megoldást választottuk. E szerint egy vasalt függőleges borda kialakítására került sor, amelyet a betonba fűrt lyukakba ragasztott kengyelek horgonyoznak be a cellafalak találkozásánál. A lehorgonyzó kengyelek hatékonyságának ellenőrzésére helyszíni kihúzó kísérleteket végeztünk és ennek alapján határoztuk meg a furatok mélységét, ill. az alkalmazandó ragasztóanyagot. Ilyen vizsgálatokra minden hasonló jellegű erősítés esetében szükség van, mert csak így lehet megbízhatóan megállapítani a beton tényleges szilárdságától függő lehorgonyzó erőit. A hegesztett háló bekötésének szerkezeti kialakítását, illetve a beton lövése közben itt alkalmazott munkahézag kialakítását a 6. ábra szemlélteti.

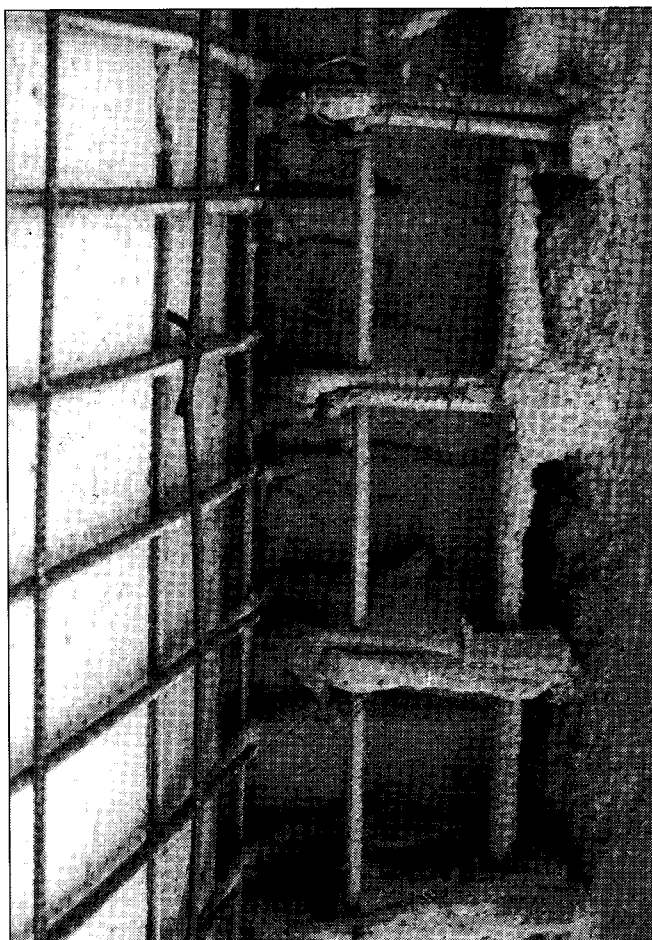
A cella feltöltése a beton lövése közben

Ha a betonkéreg felhordásának idejére a cellát gabonával feltöltik, majd a kéreg megszilárdulása után átforgatással kialakítják az ürítési nyomást, ill. a gyűrűerőt, akkor a silóteherből a külső köpenyben húzófeszültségek nem keletkeznek, ill. üres siló esetében nyomófeszültségek lépnek fel. Ez a repedések megjelenése, ill. korlátozása szempontjából előnyös. Ez azonban csak akkor engedhető meg balesetvédelmi szempontból, ha az építés idejére a cella felhasadása, tönkremenetele kizárható.

A rövid idejű, mintegy két hetes időtartamú állapot esetében a gabona tényleges térfogatsúlyával ($g = 8 \text{ kN/m}^3$) számolva a gyűrűerő:

5. ábra: A hegesztett háló bekötésének vasalása





6. ábra: A hegesztett háló bekötése

$$N_g^0 = \frac{0,8}{0,9} p_{h,u} \cdot r_b = \frac{0,8}{0,9} \cdot 45,2 \cdot 2,43 = 99,5 \text{ kN/m}$$

A meglévő vasalással számított határerővel a biztonság

$$n = \frac{N_{gH}^k}{N_g^0} = \frac{126}{99,5} = 1,25 > 1,0$$

Azaz a feltöltés megengedhető és az ezzel járó kockázat vállalható.

4. A MEGERŐSÍTÉSI MÓDSZER ALAPELVEI ÉS JELLEMZŐI

A külső vasbeton réteg alkalmazásának **előnyei**:

- Az erőtanilag szükséges megerősítés, a cellafalak meglévő javítása, a vasalásának korrózióvédelme, a silótömb kedvező esztétikai megjelenése egy technológiai folyamattal elérhető.
- A megvalósítási munkálatok idején az üzemeltetés – lényegében korlátozás nélkül – zavartalan.
- Egy silótömb megerősítése néhány hónap alatt megoldható.

A módszer alkalmazása során azonban figyelembe kell venni a következőket:

- Csak *kedvező időjárási feltételek* esetén lehet kivitelezni.
- A viszonylag vékony (6-8 cm-es) lövellt betonkéreg miatt, a kezdeti zsugorodási repedések megakadályozása érdekében célszerű műanyagszálat adagolni a betonhoz.
- A beton utókezelése fokozott figyelmet igényel.
- A felület megtisztítása, ill. a beton lövése során keletkező finom szemcsét tartalmazó „felhő” képződése miatt

a környező építmények, ill. a már elkészített felületek védelme érdekében intézkedni kell, figyelembe véve az uralkodó szélirányt is.

A megerősítési módszer technológiai lépései az alábbiak:

- A felület megtisztítása nagynyomású homokfúvással.
- A laza betonrészek levésése, kezelése korrózióvédő bevonattal.
- A vasalás, azaz a hegesztett hálók, bekötések szerelése, felerősítése.
- A betonkéreg *lövése előtt a cella gabonával való feltöltése*, melyet a kéregbeton 14 napos koráig célszerű megtartani.
- A betonkéreg lövése, lesimítása és a munkahézagok gondos kialakítása.
- A felületvédő bevonati rétegek felhordása.

Megemlítjük, hogy a lövellt beton szilárdsági osztályának előírása során figyelembe kell venni a cellafalak eredeti betonjának tulajdonságait. A meglévő fal és az új kéreg együttdolgozása ugyanis a nyúlási merevségek közel azonos mértéke esetében biztosítható. Mint ismeretes a merevebb szerkezetek a terheket „magukra vállalják”, a lágyabbak viszont „kitérnek” előlük. Ezért nagyon fontos a régi és új szerkezetek együttműködésének elősegítése érdekében az alakváltozási, merevségi tulajdonságok közelítése. Jelen esetben a viszonylag kis eredeti betonszilárdság miatt várható volt, hogy a jóval ridegebb lövellt kéreg a teherviselésben nagyobb mértékben fog részt venni, ezért célszerűnek és megnyugtatónak azt tartottuk, ha az új külső kéreg a teljes silóteher viselésére alkalmassá válik és ezt a vasalás mennyiségének meghatározásánál figyelembe is vettük.

5. A KIVITELEZÉS, A MŰSZAKI ÉS MINŐSÉG-ELLENŐRZÉS

5.1 A betonfelület előkészítése

A cellafalak javításához egyszerre három cella munkába vételét lehetővé tevő állványt készítettek.

A *betonfelület előkészítése* az egész felújítás – megerősítés sikerességét megalapozó munkafolyamat. Ahhoz, hogy az erőátadó kapcsolat létrejöhessen az őbeton és a lövellt kéregbeton között, a siló felületét alaposan meg kellett tisztítani, a laza és feltáskásodott betonrészeket el kellett távolítani, a megfelelő szilárdságú kb. C12-es betonrészek eléréséig.

A cellafalak valamint a gépház felületéről eltávolították a meglévő bevonatot, a cementhabarcs és a kapcsolatot akadályozó anyagokat (mészköliszt, szilikátpor, homokliszt stb.). A felülettisztítás *szemcsefúvási módszerrel* (0,5-1,25 mm-es szemnagyságú, éles kvarchomok alkalmazásával), mobil homokszóró berendezésekkel történt. A száraz homokfúváshoz szükséges 7 m³/min./gép levegőmennyiség, illetve 7-8 bar nyomás biztosításáról egy 20 m³/min teljesítményű, környezetbarát elektromos kompresszor gondoskodott.

Kézi-gépi vésőeszközökkel eltávolították a gyenge szilárdságú, laza betonrészeket. A visszavésés mélysége helyenként az 50-70 mm-t is elérte. Mivel ez a folyamat a homokszórással egyidejűleg folyt, a szabaddá vált acélbetéteket egyúttal homokszórással is megtisztították. Az így feltárt betonacélok keresztmetszet - csökkenése meghaladta az előzetesen becsült értéket.

A felületi tisztítás és visszavésések eredményeként nagyobb mennyiségű anyag pótlásra volt szükség, mint azt a megelőző vizsgálatok alapján feltételezni lehetett.

A megtisztított felületen a betonfelület hibái láthatók (3 és 4 ábrák).

5.2 A cellafal eredeti betonjának ellenőrzése

Az előzetes szakértői vizsgálatok részletes adatokat erre ugyan nem adtak, de egyértelmű volt a viszonylag kis és egyenetlen szilárdság. A régi cellafal és az új betonkéreg tapadásos kapcsolatához a megfelelő 1 N/mm² tapadó-húzószilárdság elérésének bizonytalansága miatt a kéregben alkalmazott hegesztett háló bekötésére fokozott figyelmet kellett fordítani.

A siló szemrevételezéses vizsgálatából arra lehetett következtetni, hogy a függőleges repedezettség a támrudak hiányos kiinjektálásának következménye. A vízszintes vasalások előrehaladott korróziós állapota, amelyet a 10 mm-nél szélesebb kipergés, feltáskásodás, lerepszett betonfedés is igazolt, bal-eseti veszélyt is jelentett, ezért annak részletes és általános felülvizsgálata halaszthatatlanná vált.

A CAEC Kft. az eredeti betonfelületen beton – nyomó és tapadószilárdságot mért, valamint az acélbetétek szakító szilárdságáról mérési jegyzőkönyvet készített.

A betonszilárdságot roncsolásmentes módon, Schmidt-kalapáccsal, 5 mérési ponton vizsgálták. A mért átlagos betonszilárdság 16,0 N/mm², jellemző betonszilárdság 12,0 N/mm² volt.

A tapadószilárdságot felragasztott 50 mm-es tapadókorong leszakításával vizsgálták 5 mérési helyen. Az átlagos tapadószilárdság 1,2 N/mm², a mért legkisebb szilárdság 0,52 N/mm² volt.

A vizsgálatok során megállapították, hogy a tapadószilárdság megfelelő, de egyenlőtlen. A betonszilárdság C12 jelű, az acélbetétek szakító szilárdságának figyelembe vehető határszilárdsága 300 N/mm² volt.

Minden egyes homokszórásos felülettisztítási, valamint kézi-gépi feltárási szakaszt követően ellenőrizték a felületpor, régi bevonat, egyéb szennyeződés, illetve laza részekről való mentességet.

5.3 A lövellt beton jellemzői

A követelmények

- C20 (MSz 4719 – MSz 4720) jelű beton,
- a legnagyobb szemnagyság: $D_{max} = 8\text{ mm}$,
- folytonos szemszerkezet.
- kis kezdeti repedési hajlam,
- legnagyobb léghézag mérete: 5 mm,
- polipropilén műszál adagolás: 1,0 kg/m³,
- gondos utókezelés biztosítása.

Lényegében tehát olyan betont kell alkalmazni, amelynek az alakváltozó képessége az átlagosnál jobb, és erre a PP műszál adagolású betonok alkalmasak. A műszál adagolás előnye még, hogy a friss beton korai zsugorodási repedéseinek megjelenését gátolja és csökkenti a beton lövése közben visszahulló anyag mennyiségét.

A beton összetétele

Az egyenletes betonösszetétel érdekében *gyárilag előkészített, zsákolt lövellt betont alkalmaztak.*

A lövellt betonkéreg teljes mértékben gyári szórható lőtthabarc keverékből készült, amelyhez a vizet a keverőfejben adták hozzá (ún. száraz eljárás).

A lőtthabarc összetétele az alábbi:

	(tömegre) kg
víz: (víz/cement tényező = 0,25	100 l/m ³
portlandcement CEM I 42,5	400 kg/m ³
ásványi eredetű homok (0-8 mm)	1689 kg/m ³
adalékszer	12 kg/m ³
műanyagszál	1 kg/m ³

A Keston MM4, ill. MM8 25 kg-os kiszerelésű beton szilárdsági jele C20, a polipropilén műszálát gyárilag adagolták.

A lövellt beton szilárdságának ellenőrzése

A lövelltbeton – keverék hajlító-húzó – és nyomószilárdságát a gyártó cég folyamatosan ellenőrizte. Ennek keretében – a műszaki ellenőr utasítására – az alábbiakra került sor.

A 4 x 4 x 16 cm³ próbatesteken végzett laboratóriumi vizsgálatok (MSZ EN 196 – 1: 1996 9.2 és 9.3 pontok) 6,88 N/mm² átlagos hajlító - húzó szilárdságot, valamint 45,86 N/mm² átlagos nyomószilárdságot mutattak ki: ez nagyobb a gyári műszaki adatlapokon feltüntetett értéknél.

A fellőtt beton szilárdságának és egyenletességének ellenőrzésére *tapadókorongos leszakító vizsgálatot végeztek.* A mért átlagos 1,28 N/mm² – es leszakító húzószilárdság biztosítani tudja a védőbevonattal való *megfelelő együttműködést.*

A kiviteli terveket készítő CAEC Kft. szűrőpróba jellegű ellenőrzést végzett.

A lövellt beton minősítése

Az építési helyszínen készített 15 x 15 x 15 cm-es próbatestek MSZ 4715 szerinti laboratóriumi vizsgálati eredményei alapján a beton nyomószilárdsági osztálya MSZ 4719 szerint C20. A vizsgált próbatestek a beton jeléhez tartozó minősítő értéket (kockán 25 N/mm²) elérték.

Az elvégzett vizsgálatok az alábbiakat igazolták:

- a fellőtt beton C20 szilárdsági osztályúnak fogadható el,
- a minőség egyenletes,
- a felületek lesimítása megfelelő.

5.4 A vasalás szerelése

Az acélbetétek anyaga

Az erősítési terv szerint a cellafalak felületére a +2,0 m és +22,8 magasság között Ø8/10 – 20 – as hegesztett hálót, a +22,8 m és +27,40 m között Ø7/10 – 20, a +27,40 és +32,00 között Ø4,2/10 – 20 hegesztett hálót alkalmaztunk. A háló acélbetéteinek anyaga B 60.50, MSz 339 szilárdsági osztályú volt.

A háló bekötésének vizsgálata

A külső felületre felszerelt hálók átfogásos toldását, ill. a cellalák összemetsződésénél lévő vápába való bekötését – amint korábban említettük – az 5. ábra szerint alakítottuk ki.

A bekötés megbízhatóságát a helyszínen fűrt és beragasztott tüskézés kihúzásával ellenőriztük, és a terv szerint előírt 39 kN helyett a kihúzóerő mért értékek átlaga 55 kN volt. Ezek alapján a Ø12 mm átmérőjű bekötő kengyeleket 350 mm mély és a Ø16 mm átmérőjű fűrt lyukakba AM 1000 quick mix (Techno-Wato) ragasztóanyaggal kötötték be a cellafal betonjába.

A hegesztett hálók felszerelése

A hegesztett hálók felerősítésére 50/50 cm-es osztásban elhelyezett tüskézést alkalmaztunk. Ezzel el lehetett érni a lövés alatt szükséges merevséget, továbbá a viszonylag gyenge alapbetonnal való kapcsolatot.

Az adott cellaméret esetében a 8 mm – es acélbetétekből készült hegesztett *háló a felületre még ráhajlítható*. Nagyobb átmérő esetében a háló előhajlítására lenne szükség, ami már szerelési nehézségekkel járna.

A felület tisztaságának ellenőrzését követően elkészültek a *csumóponti lehorgonyzó acélbetétek (kengyelek)* elhelyezéséhez szükséges 35 cm mély furatok. A lehorgonyzó kengyeleket 20 cm-ként kettőzve ragasztottuk be a kb. 22 cm széles összemetsződési hosszban. A kengyelek beragasztásának minőségét szűrőpróbaszerűen kihúzóvizsgálattal ellenőriztük.

A cellák összemetsződési függőleges szakaszában – a lehorgonyzó kengyelek beragasztása előtt – rögzítettük a helyszíni hajlítási, vályú alakú hálókat, amelyeket váltakozóan 0,90 illetve 0,65 m átfedéssel a cellafalakra rögzített hálókkel csatlakoztattuk. A hegesztett hálók felszereléséhez, rögzítéséhez 2 db/m² beragasztott acéltűskét alkalmaztunk és a falsíktól 1 cm minimális távolságot tartottunk.

Különösen nagy figyelemmel és óvatossággal végeztük az egészben 2,40 x 6,00 m méretű hálók szerelését, mert az állványzat külső részén szintre emelt hálónak a cellafalakra való juttatása csak az állványzat egyes lehorgonyzási pontjainak feloldásával volt megoldható, illetve a Ø8 – as gyűrű irányú hálókat a cellák ívére nehezen tudták illeszteni és rögzíteni.

5.5 A beton lövése, a munkahézag kialakítása

A beton fellövése előtt a felületet előnedvesítettük, a lövellt betont matt nedves felületre hordtuk fel.

A külső lövellt betonkerget felülről lefelé haladva készítettük.

A cellafalakat *erőtani* okok és a repedésérzékenység miatti – a +2,00 és +26,70 m magasság között *6 cm vastag, vasalt ellátott külső lövellt betonkéreggel erősítettük* meg. +26,70 és +34,00 m magasság között pedig a betonacélok *korrozio elleni védelme érdekében* és a felületi leválások ellen 3 cm vastag, repedést gátló erősítő hálóval kialakított külső lövellt betonkerget készítettünk.

A 6 cm-es betonkerget minimálisan 20 mm, valamint a 3 cm-es betonkerget minimálisan 15 mm betontakarással készítettük.

A kéregbeton vízszintes munkahézagainak környékén megjelenő hajszálrepedések képződésének csökkentése érdekében szögacélból készített, a cellafal ívére hajlított merev lezáró elemeket alkalmaztunk. Ezzel értük el a lövellt beton és a betontakarás megfelelő vastagságát, illetve tömörségét. A függőleges munkahézagokat a függőleges behorgonyzó bordánál alakítottuk ki úgy, hogy a cellák összemetsződésénél az első ütemben csak 6 cm vastag megerősített réteget készítettünk. A következő silócella megerősítésekor a második ütemben készítettük el a teljes megerősített behorgonyzó bordát, ami a munkahézagot teljes egészében átfedte. A második ütem előtt az acélbetétekre lerakódott betont eltávolítottuk.

A megfelelő rétegvastagság elérése után a beton felületét lesimítottuk, részben a felületvédő bevonat felhordásának megkönnyítése, ill. a folyamatos és egyenletes rétegvastagság elérése, másrészt a kedvezőbb esztétikai megjelenés érdekében.

A beton lövését úgy szerveztük meg, hogy egy cellán függőleges munkahézag csak az összemetszésekénél legyen, a vízszintes munkahéagnál pedig az említett ívesen hajlított szögacél szelvényt alkalmaztak, amelyet a hegesztett hálóhoz erősítettek.

Az alkalmazott munkahézag – képzés előnyei az alábbiak:

- Biztosítani lehet a hálós vasalás felett a 25 mm-es egyenletes betonfedést.

- Az acélszelvény merevsége miatt a hozzá lövellt beton kellően tömör lesz.
- Az acélszelvény leszerelése után az új kéreg tömör betonfelületre lövellhető.
- A munkahézag a felületre merőleges, ezzel elkerülhető, hogy az új kéreg lesimítása során a régi felületen olyan vékony rásimított réteg alakuljon ki, amely feltáskásodásra, utólagos leválásra hajlamos.

A tapasztalat azt igazolta, hogy az így kialakított munkahézagokban – az egyébként elkerülhetetlen – hajszálrepedések nagyon ritkán jelentek meg.

Az egy cellafalon alkalmazott egy darab íves acélszelvénnyel egyenletesen ívelt felületet lehetett kialakítani, a korábbi egyenetlenségek eltűntek, és ezzel az eredetinél kedvezőbb esztétikai megjelenést értünk el.

5.6 A felületvédő bevonat

A lövellt betonkéregben elkerülhetetlenül megjelenő hajszálrepedések (zsugorodás, munkahézagok, eredeti cellafal-repedések, hőmérsékleti hatások) lefedésére, a repedésekbe bejutó csapadék káros hatásának megakadályozása, továbbá a silótömb kedvező esztétikai megjelenése érdekében a felületvédő bevonat alkalmazása nélkülözhetetlen.

A több rétegben készített bevonattal szemben támasztott követelmények:

- rugalmas repedésáthidaló képesség,
- *meglévő* felületi tapadás,
- UV sugárzásnak álljon ellen,
- páraáteresztés,
- fényvisszaverő tulajdonság (napsugárzásból származó hőhatás csökkentése),
- javíthatóság.

Ezeket az alkalmazott KESTON FLEX II. anyag teljesíti, a tapadókorongos leszakító vizsgálatok alapján a felületi tapadás megközelítette az 1 N/mm² értéket tehát az előírások szerinti 0,5 N/mm² tapadószilárdság közel kétszeresét értük el.

A felületi bevonat élettartama 10-15 évre becsülhető, így állapotának felülvizsgálatát mintegy 10 évenként el kell végezni.

A lövellt betonköpenyt, majd a felületvédő bevonatot is a megrepedt eredeti szerkezetre hordták fel, ezért *erőtani* és hőmérsékleti hatások következtében hajszálrepedések jelentkezhetnek, emiatt a felületvédő bevonatot úgy választottuk ki, hogy alkalmas legyen a 0,2 mm repedéstágasság áthidalására.

A védőbevonat alkalmazását indokoltá tette az új löttbeton réteg meteorológiai hatásokkal szembeni fokozott védelme, továbbá a lövellt beton jellemző légzárványos szerkezete.

Az alkalmazott felületvédelem akrilát kopolimer alapú, vi-zes diszperziós anyagrendszer, amely mélyalapozó koncentrátumból és 2 réteg fedőrétegből tevődik össze. A felületvédő bevonat 0,2 mm repedéstágasság áthidalására alkalmas, tartósan rugalmas, fényvisszaverő, vízzáró és páraáteresztő.

6. MEGÁLLAPÍTÁSOK

Több mint három évtizede épített vasbeton siló üzemeltetését korlátozó meghibásodásai miatt a javítást nem lehetett tovább halasztani. A hiányosságok felderítése érdekében részletes szakértői vizsgálatokat végeztek és megállapították, hogy a repedezettségi állapot javításán kívül *erőtani* szempontból is szükség van a megerősítésre. A megerősítési módszerek alapos elemzésével választották ki az optimális megoldást és a

külső lövellt vasbeton köpenyezés megvalósítását javasolták.

Külföldön lövellt vasbeton kéreggel Kanadában (Collins, 1997) és Jugoszláviában erősítették meg a vasbeton silókat, azonban ezeknél a vasalt kéreg csak a silófál magasságának kétharmadáig ért, és külső felületvédő bevonatot nem alkalmaztak. A kanadai silónál az erősítés után néhány éven belül a lövellt betonkéreg *megrepedését* tapasztalták. Ez arra figyelmeztet, hogy repedésáthidaló külső felületvédő bevonatra mindenképpen szükség van.

Magyarországon először a marcali 2000 vagonos vasbeton gabonasilót erősítették meg külső – lövellt – vasbeton kéreggel. (Orosz – Csató – Tamáska, 1999). Ebben az esetben a kérget teljes magasságban elkészítették, 2/3 magasságig vasalással, e fölött vasalást csak helyenként, viszont az egész felületen védőbevonatot alkalmaztak. Ennél a silónál alkalmazták először a műszál – adagolású lövellt betont, amellyel kedvező tapasztalatokat szereztek. A megerősítés után három évvel – a teljes kapacitással üzemelő silón – repedést, meghibásodást nem tapasztaltak, csupán egy vízszintes munkahéznál jelent meg festékleválás.

A törökszentmiklósi siló esetében az eddigiekhez képest továbblépést jelentettek az alábbiak:

- Az új kéreg teljes magasságban vasalva és lövellt betonnal készült.
- Az erősítő kéregben alkalmazott vasalás a silóteherből származó teljes húzóerő felvételére alkalmas.
- A vízszintes vasalást, a hegesztett hálót – a sarokcellák kivételével – toldás nélkül készítették.
- A cellafalon a lövellt betonkéregben csak vízszintes munkahézagok voltak.
- Az acélsablonnal kialakított munkahézagok kedvező hatása jól érvényesült mert a beton lövése után hajszál-repedések alig jelentek meg.

A Megrendelő a teljes rekonstrukciós folyamat során közvetlenül, ill. műszaki ellenőrn keresztül folyamatosan és rendszeresen ellenőrizte a beépítendő anyagokat, és azok minőségi bizonyítványait. A felújítás minden jelentős fázisát külön – külön ellenőrizték, és ennek alapján szakaszonként vették át a munkát.

A kivitelezés közben végzett rendszeres műszaki és minőség-ellenőrzés alapján a lövellt beton C20 – as szilárdsági osztályba sorolható.

Az ellenőrzés azt is megállapította, hogy a felület megtisztítása, az acélbetétek szerelése, a beton lövése, utókezelése, a felületvédő rétegek felhordása megfelelő volt.

Ismételten beigazolódott, hogy a lövellt betonban a műszáladagolás a repedezési hajlam ellen hat, amint ez nagyterjedésű betonfelületek esetén (pl. térburkolat, pályabeton) manapság már közismert tény.

A külső lövellt betonkéreggel való megerősítés legnagyobb előnyei az alábbiak:

- egy technológiai ütemben valósítható meg az erőtani megerősítés, a javítás ill. korrózióvédelem,
- a munkálatok idején a siló gyakorlatilag korlátozás nélkül használható,
- a felületi bevonattal esztétikailag kedvező, tartós védelem jön létre.

Későbbi siló-felújítások esetén az eddigieknél nagyobb hangsúlyt kell fektetni a szerkezet állapotának pontos felmérésére, mind a tényleges betonminőség mind a tényleges vasalás feltárása terén.

A kivitelező valamennyi ponton tartotta az előre rögzített ütemtervet, így a felújítás nem okozott üzemviteli problémát a megrendelőnek.

Végeredményben megállapítható, hogy

- a bemutatott erősítési módszer hatásos, rövid idő alatt és megfelelő minőségben elkészíthető és
- hosszú időre biztosítja a siló zavartalan üzemelését.

7. HIVATKOZÁSOK

- Collins, M.P., Seabrook, P.T., Kuchma, D., Sacré, P. (1997), "External Repair of Cracked Grain Silos", *Concrete International*, 1997. nov. pp. 22-28.
- Erdei Gy. (2001), "Ajánlatkészítő szakvélemény a Törökszentmiklósi", Alföldi Gabona Rt. 8200 tonnás gabonasilójához 2001. *Kézirat*
- Folic, R.-Ivanov, D.-Desovski, Z. (1995), "Results of Testing and Repair of Cells of 8000 Ton Silo" *Proceedings of the Sixth International Conference on Structural Faults and Repair*, London, Volume 3. pp. 67 – 74.
- Herkó D. (1999), "A törökszentmiklósi 8000 tonnás vasbeton gabonasiló szerkezeti felülvizsgálata", *Szakértői vélemény*, 1999. *kézirat*
- Orosz Á. (1998), "Megjegyzések a silónyomás számításához vasbeton gabonasilók esetében", *BME Építőmérnöki Kar Tudományos Közleményei*, 1998, 172-180. old. Vasbetonszerkezetek Tanszéke.
- Orosz Á, Csató Gy, Tamáska J. (1999), "A marcali 2000 vagonos gabonasiló megerősítése" *Vasbetonépítés*, I. évf. 1999/2, pp. 55-62.
- Orosz Á. (2001), "Vasbeton silók javítási módszerének megvalósítása", *A BME Építőmérnöki Kar Tudományos Közleményei* 2001. 145-150. old. Hidak és Szerkezetek Tanszéke

Dr. Almási József (1940) okl. mérnök. Munkahelyei: Láng Gépgyár (1958), Mélyépítő Vállalat (1964 – 66), BME Vasbetonszerkezetek Tanszéke (1967 – 95), 1995 – től Ügyvezető a Cronauer Almási Engineering Consulting CAEC Kft – nél. A fib Magyar Tagozat tagja, Palotás László díjas (2002).

Erdei György (1954) okl. mérnök, ügyvezető. Munkahelyei: 1979 – 81 HŐTECHNIKA Építő és Szigetelő Vállalat, 1981 – 86. SZOLNOKTERV, 1987 – 90 PROFIL Mérnöki Iroda, 1991 – 92. MANOKA (Sevilla EXPO'92), 1993 – 95. REKONTERV Kft, 1996- től Erdei és Társa Kft.

Édes Imre (1951) mérnök. Munkahelyei: GELKA 1970 – 71, Fűtőber 1975 – 1976, Alföldi Gabonaipari Rt. 1976 – től műszaki főosztályvezető.

Koncz Lóránt (1967) okl. mérnök, műszaki vezető. Munkahelyei: Németország Adam Hörnig GmbH, Maur & Söhne GmbH (1992 – 95), műszaki vezető az EKS – Service Kft – nél (1995 – től).

Dr. Orosz Árpád (1926) okl. mérnök, nyugalmazott egyetemi tanár. Munkahelyei: MÁV Hidépítő Vállalat 1953, Vasúti Tudományos Kutató Intézet (1954 – 56). 1956 – től műszaki egyetemi oktató, a BME Vasbetonszerkezetek Tanszéke vezetője 1977 – 1991), 1995 – től nyugdíjas. Szakterületei: vasbeton szerkezetek, medencék, silók stb. tervezése, felújítása, megerősítése.

EXTERNAL STRENGTHENING OF A GRAIN SILO AT TÖRÖKSZENTMIKLÓS IN HUNGARY

Dr. József Almási - György Erdei - Imre Édes - Lóránt Koncz - Dr. Árpád Orosz

The 8000-ton grain silo in Marcali, Hungary was completed in 1967. In later years imperfections, defects and longitudinal cracks were found due to the regular usage of the silo and the constant exposure to the elements, thus causing damage to the stored grain. Due to the corrosion of the reinforcing steel and separation of the protective cover, a complete renovation could not be postponed. After analyzing and comparing various strengthening techniques, it was decided that employing a wire mesh covered with fiber reinforced shotcrete was the best plan of action. To prevent or limit the appearance of cracks, the silo was filled with grain during the application of the shotcrete, so as to eliminate the tensile stresses in the outer cover. Finally a protective layer was applied that could endure temperature and shrinkage effects as well as bridge cracks. Since completion of the strengthening project, the silo has been in continuous operation, supporting the effectiveness of this method.