

AZ ELSŐ MAGYAR NAGYSZILÁRDSÁGÚ/NAGY TELJESÍTŐKÉPESSÉGŰ (NSZ/NT) VASBETON HÍD TERVEZÉSE ÉS ÉPÍTÉSE AZ M-7-ES AUTÓPÁLYÁN

Dr. Farkas János
Tervező

VEGYÉPSZER ZRT.

Kocsis Ildikó
Betontechnológus

Németh Imre
Vezérigazgató

Bodor Jenő
Főépítésvezető

Bán Lajos
Betontechnológus

MAHÍD 2000 ZRT.

ELŐZMÉNYEK:

- A hézagaiban vasalt beton útpályaszerkezetek elterjedésének felfutása várható; jól előkészített hazai kutatások az útépités területén (Dr. Keleti Imre, Dr. Fi István és társai),
- Jól előkészített hazai kutatások a hídépítés területén (Dr. Szalai Kálmán, Dr. Farkas György és társai),
- Kedvező külföldi tapasztalatok,
- A KTI Rt., BME Út-vasútépítési Tanszéke, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke MTA Mérnöki Szerkezetek Kutatócsoport, Orka Mérnöki Tanácsadó Kft.:
5/2004 Építőipari Műszaki Engedély , Műszaki Szállítási Feltételek E, K, R forgalmi terhelési kategóriájú útszakaszok hézagaiban vasalt betonburkolatú, illetve kompozit felépítésű merev útpályaszerkezeteihez illeszkedő híd-felszerkezetek építéséhez című előírás megjelenése → **(EC alapú tervezés, biblia)**
- Az NA ZRt. támogatása (Szilágyi András, Dr. Medved Gábor),
- A VEGYÉPSZER ZRT. és a MAHÍD 2000 ZRT. elkötelezettsége

CÉLOK:

- Valódi, „éles” körülmények között megépíteni az első magyar NSZ/NT hidat, bizonyítani az NSZ/NT szerkezetek hazai megépíthetőségét, létjogosultságát, jelentőségét,
- Bemutatni, hogy a jelenleg pl. az M0-nál alkalmazott bonyolult szerkezetű beton pályalemezes hidaknak van alternatívája,
- Konkrétan kimutatni, hogy az élettartam és fenntartási ciklusidő globálisan is és elemeiben is (klorid-ion behatolás, vízzáróság, repedésérzékenység, stb), jelentősen növelhető
Nemzetgazdasági haszon!
- Tapasztalatokat szerezni az EC alapú tervezés, a betontechnológia és az építés területén,
- Vizsgálni a beton pályaszerkezet és híd csatlakozását.

1. TERVEZÉS

1.1. A műtárgy általános leírása:

1.1.1. Geometria:

- 6707 j. összekötő út átvezetése,
- Út koronaszélessége 12,00 m.
- A híd hosszirányú támaszközei beosztása: 11,00+17,50+18,50+13,00 m.
- A híd keresztmetszeti beosztása: $0,565+11+0,565=12,13\text{m}$.
- Oldalesés: 6% egy irányban.
- Magassági vonalvezetés: esik egy irányban 2,43%-0,72% között.
- Vízszintes vonalvezetés: a hídtengely $R=300\text{ m}$ sugarú ívben fekszik, a hídtengely és az autópálya tengely $85,36^\circ$ -os szöveget zárnak be.

1. TERVEZÉS

1.1. A műtárgy általános leírása:

1.1.2. Teherbírás, határállapotok:

- A híd teherbírása:
Q1k=600 kN összsúlyú (2x300 kN ikertengely.)+9kN/m2 az 1.sávon
Q2k=400kN összsúlyú (2x200 kN ikertengely.)+2,5 kN/m2 a 2.sávon
Q3k=200kN összsúlyú (2x100 kN ikertengely.)+2,5 kN/m2 a 3.sávon
- Határállapotok:
- Az (1) szerinti és MSZ ENV 1991-3 (Eurocode 1.) szerinti függőleges (LM1) és vízszintes tehermodellekből képzett:
teherbírasi
használhatósági
alakváltozási és rezgési
határállapotokra történtek a kimutatások.

1. TERVEZÉS

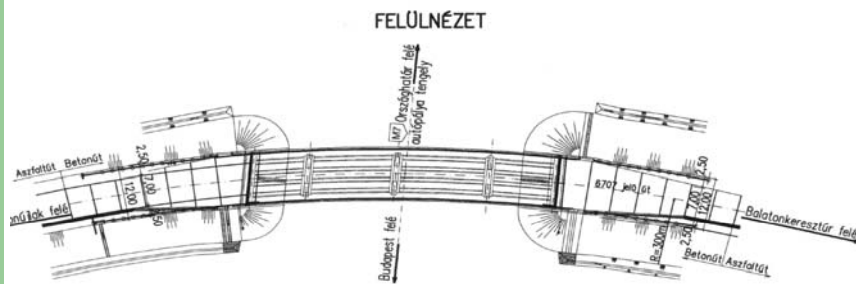
1.1. A műtárgy általános leírása:

1.1.3. Szerkezeti rendszer:

- 5 támaszú, 4 bordás, C50/60 monolit vasbeton felszerkezet, támaszok fölötti keresztgerendákkal,
- Helyszínen csúszópázmás rendszerrel hossz- és keresztirányban feszített felszerkezet,
- Egyedi monolit C35/40 pillérek és hídfők,
- Síkalapozás, hosszivárgók rendszere,
- A hídfők mögötti vizsgálókamra, melyből a vízzáró dilatáció állapota vizsgálható.

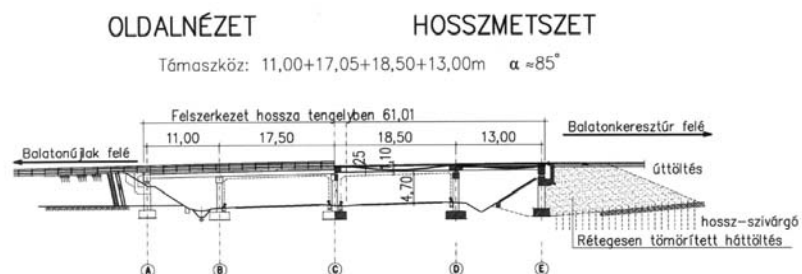
1. TERVEZÉS

1.1. A műtárgy általános leírása:



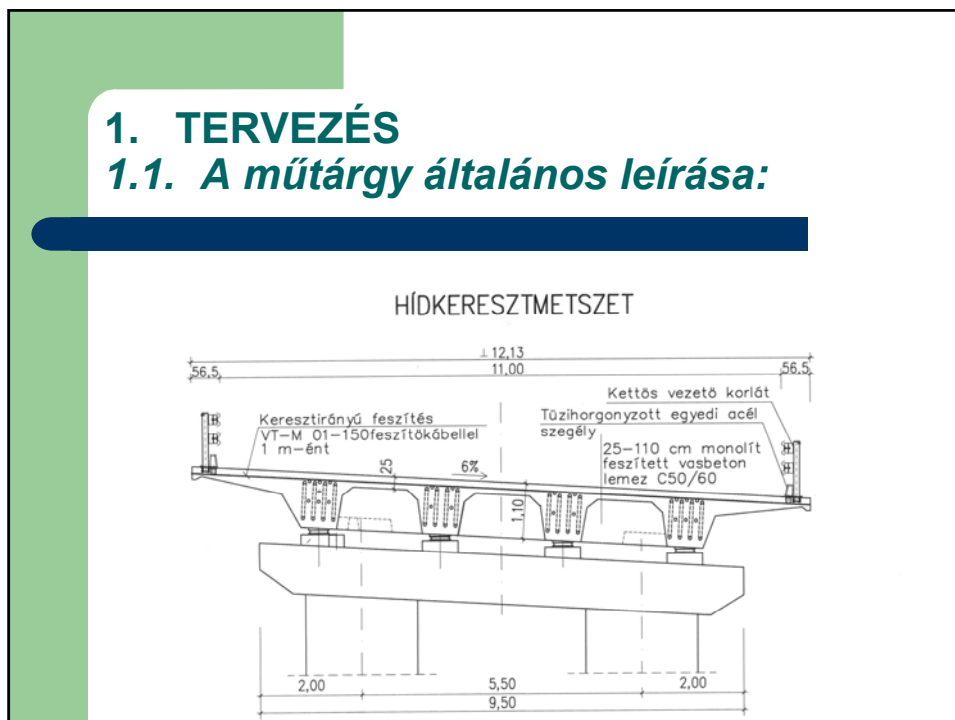
1. TERVEZÉS

1.1. A műtárgy általános leírása:



1. TERVEZÉS

1.1. A műtárgy általános leírása:



1. TERVEZÉS

1.1. A műtárgy általános leírása:

1.1.4.A tervezés folyamata:

- Engedélyezési tervek monolit normálbeton híd (FŐMTERV Rt)
- Engedélyezési tervek C50/60 felszerkezetre (MAHÍD 2000 ZRt)
- Független statikai felülvizsgálat (BME Hidak és Szerk. Tanszéke)
- Szabvány alóli felmentések (GKM Közúti Főosztály)
- Folyamatos egyeztetések (ÁAK ZRt., UKIG, ÁKMI, Somogy m. Közútkezelő Kht)
- Kiviteli terv (MAHÍD 2000 ZRT.)
- Kiviteli terv jóváhagyás a hídra (Központi Közlekedési Felügyelet, Önálló Hídcsoport),
- Kiviteli terv jóváhagyás az útra (Somogy m. Közlekedési Felügyelet)

1. TERVEZÉS

1.2. A híd tervezése során kialakított új szerkezeti megoldások:

- Szigetelési, aszfaltburkolati és szivárgó rendszerek elhagyása,
- Úszólemez helyett vasalt, a hídfőre feltámaszkodó pályatábla,
- Trapéz alakú háttöltés-test a süllyedések csökkentésére,
- Hossz-és keresztirányú feszítés a szigorú használhatósági kritériumok miatt,
- A szabványos vasbeton szegély elhagyása, helyette acélszegély,
- H3-as visszatartási fokozatú acél korlátszerkezet.

1. TERVEZÉS

1.3. A fenntartással és üzemeléssel kapcsolatos tervezési munkák:

- Az üzemeltető által kért un. „Javítási terv” kidolgozása
- Ennek következménye: a hidat egyszer az EC alapú előírás és egyszer az érvényes utügyi műszaki előírások szerint is meg kellett tervezni, mindig a maximális követelmények kielégítésével,
- Ebből a konkrét hídra a következtetés: amíg a különböző szabványok szerint a **teherbírásai igénybevételek** közel azonosak (5-7% -al magasabb a jelenlegi előírások szerint), **a használhatósági követelmények szerinti igénybevételek kb. 60%-al magasabbak az üzemi igénybevételeknél.**

1. TERVEZÉS

1.4. Az új szerkezettel összefüggő statikai számítások:

- Az EC alapú 5/2004-es ÉME szerint tervezés, amely jelentősen eltér az érvényes hídtervezési előírásoktól.
- Az új szerkezeti kialakításokból adódó többlet számításokat a lehető legpontosabban végeztük, (térbeli, síkbeli nemlineáris végeselemes modellek, az építési ütemek egymásra hatása szerinti modellezés)
- A nagy eredő esés és a próbabeépítéskori tapasztalat szerint, a bedolgozáskor megfolyó beton miatt a beforgatásos kivitelezéshez kapcsolódó számítások.

1. TERVEZÉS

1.4. Az új szerkezettel összefüggő statikai számítások:

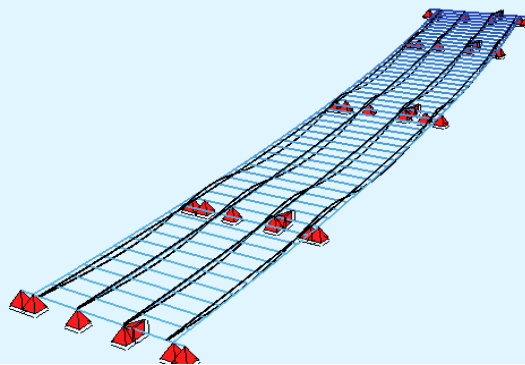
1.4.1. A felszerkezet 5/2004-es ÉME szerinti statikai számításai összefoglalása:

- A hagyományos vasbeton felmenőszervezetekre és alépítményi szervezetekre a számítást az érvényes magyar előírások szerint végeztük.
- A feszített szervezetekre vonatkozó általános követelményeket a **szigetelés nélküli több támaszú felszerkezetre** az alábbiak szerint terjesztettük ki:
 - Használati állapotban a felszerkezet összes elemében keletkező feszültségek nyomás alatt vannak, (az EC szerinti dekompressziós állapot kvázi áll. komb.-ra, és a gyakori kombinációra)
 - A karakterisztikus (ritka)!!! kombinációra a pályalemezben a húzást max. $1,2\text{N/mm}^2$ -ben engedtünk meg, ami a C50/60 betonra $f_{ctk5\%}=2,9\text{ N/mm}^2$, 40%-a, B szerk. kat.-ú a hídpályalemez)
 - A feszítéskor a helyi húzófeszültségek a szerkezetben a 95 %-os kvantilisú fctk megengedett húzófeszültség alatt maradnak,
 - A törési és ridegtörési biztonságot kimutattuk a teherbírási határállapotban.

A számítási menete:

- tartórács modellen a kereszteloszlást, és ekkor külön a szélső és külön a közbenső főtartókkal mint rúdszerkezettel foglalkoztunk ,
- a főtartókra az elengedhetetlenül szükséges hosszirányú (egyszeresen extrudált VT-CMM -4x150 jelű betétekből álló „interne”) **csúszófesztetés mértékét** úgy határoztuk meg, hogy az 5/2004 ÉME szerint definiált használati terhekből a felszerkezetét minden pontja gyakorlatilag nyomás alatt maradjon .
- a teherbírási állapotra meghatároztuk a szükséges lágyvasalást,
- a keresztirányú húzásra - 1 m-ként VT M 01-150 „interne” csúszópálya,
- a véglehorgonyzások vizsgálatára térbeli végelelemes számításokat végeztünk, rugalmas rendszeren,
- elvégeztük a saruk, dilatációk, korlátok stb. számításait,
- adott kis nyílású hídnál tudatosan nem végeztünk fáradással és dinamikával összefüggő számításokat (melyek azonban adott nagy nyílásnál és kis szerkezeti magasságnál szükségessé válhatnak).

Tartórács modell



1. TERVEZÉS

1.4. Az új szerkezettel összefüggő statikai számítások:

1.4.2. Az új szerkezeti kialakítások miatti statikai számítások:

- A háttöltés a híd és a csatlakozó töltés megfelelő kialakításához síkbeli nemlineáris végeleemes számítások,
- A betontáblák vizsgálatához 2 rétegű rugalmasan ágyazott burkolati rendszeren nemlineáris végeleemes számítások, a rétegek közötti nyomott rugók feltételezésével.

1. TERVEZÉS

1.4. Az új szerkezettel összefüggő statikai számítások:

1.4.3. A technológiával összefüggő számítások:

- tartórács modellen kísértük végig a feszített felszerkezet beforgatásával keletkező mozgásokat és igénybevételeket,
- meghatároztuk a szükséges többlet feszítéseket és vasalásokat,
- a beforgatás megengedett lépésenkénti aszinkron süllyesztéseit, az előző lépésben mért adatokból előre megmondtuk,
- a próbaterheléshez a megadott teheresetek lehajlásait és a sajátrezgés-számokat határoztuk meg.

1. TERVEZÉS

1.4. Az új szerkezettel összefüggő statikai számítások:

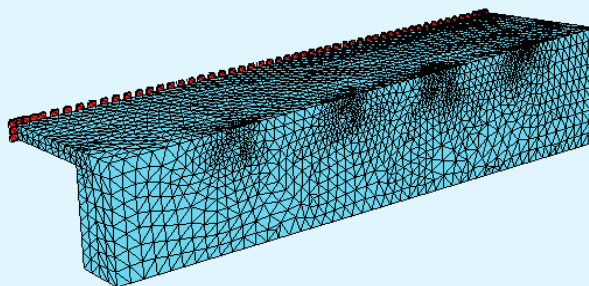
1.4.4. Szoftver háttér:

- A számításokhoz a MAHÍD 2000 ZRt. **Sofistik** gépi programját használtuk,
- Kidolgoztuk és automatizáltuk az 5/2004-es ÉME struktúrája lapján az EC alapú feszített, és vasbeton hídfelszerkezetek számítógépes programrendszerét.

Gyors reagálás a jövő EC szerinti és NSZ/NT feladataira

1.4.5. A végeelemes számítások rövid leírása:

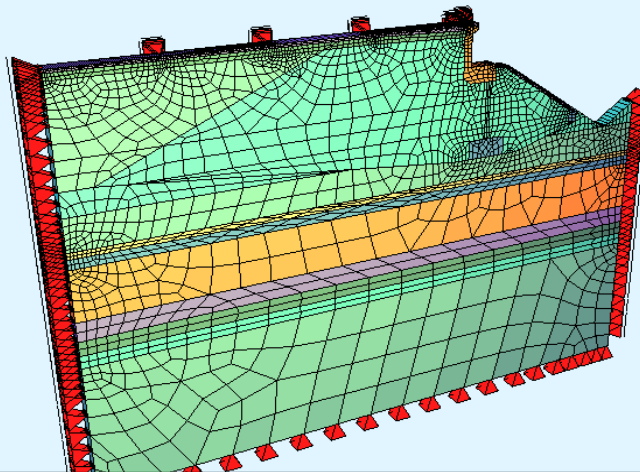
A véglehorgonyzások statikai vizsgálata FEM alapján az építési állapotok figyelembevételével :



1.4.5. A végeleemes számítások rövid leírása:

- Egyedi főtartóvég kialakítás ,
- A feszítési állapotok vizsgálata és a lehorgonyzó fejek optimális kialakítása ,
- Csomóponti és nem blokkszerű terhelőerők (biztonság javára),
- A feszítési sorrend (egyenletes feszítés elve):
 - két szélső főtartó egymás utáni, feszítése a centrális egyenes betétekkel,
 - két belső főtartó egyidejű feszítése a centrális egyenes betétekkel,
 - két szélső főtartó sinusos feszítése ,
 - két közbenső főtartó sinusos pásmái feszítése ,
 - kiállványozás.
- A maximális főhúzófeszültség 3,0 Mpa a lemez felső síkjában annak végén, ami < C40 beton fctk 0,95 (feszítéskori szilárdság)
- Vasalás optimális kialakítása (spirálkengyeleket, többlet nyíró kengyelek)
- A feszítés után a lehorgonyzás környezetét többször megvizsgáltuk, és semmilyen repedést nem tapasztaltunk.

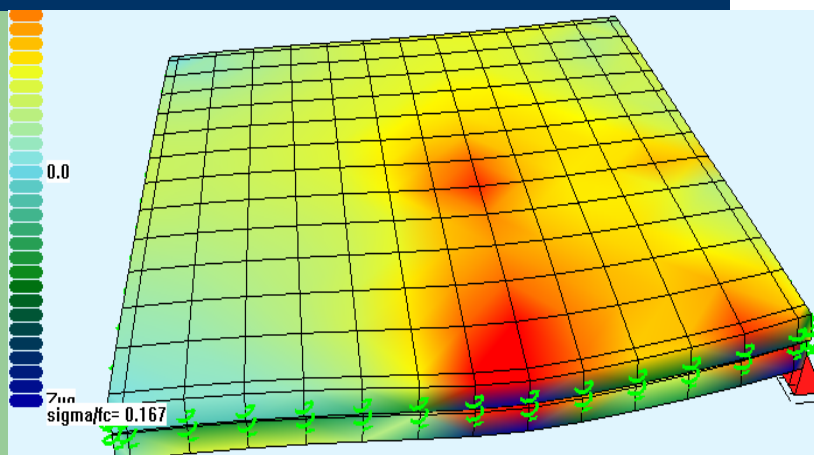
A híd mögötti földmű vizsgálata FEM alapján az építési állapotok figyelembevételével :



A híd mögötti földmű vizsgálata FEM alapján az építési állapotok figyelembevételével :

- A merev útpályaszerkezet alatti süllyedések csökkentése,
- A pályabetonra jutó feszültségek ellenőrzése,
- Az úszólemez elhagyása,
- Ugyanakkor nagyobb méretű és az erőket jobban elosztó háttöltés test
- Jobb minőségű háttöltés anyagok beépítése,
- A konszolidációs többlet süllyedéseket a rugalmas 0,5x-ösére vettük
- Nemlineáris Mohr-Coulomb anyagtörvény és Talajmechanika szerinti talajjellemzők az általajra

A hídhoz csatlakozó és általános helyzetű útpályatáblák méretezése :



A hídhoz csatlakozó és általános helyzetű útpályatáblák méretezése :

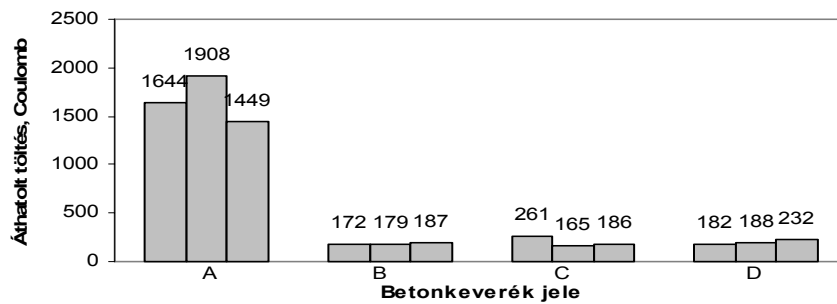
- 20 cm-es beton + 20 cm-es Ckt réteg a $C=70.000 \text{ kN/m}^3$ ágyazási tényezős talajon (a lemeztábla végelemek között húzás keletkezett, akkor a közöttük működő rugó kilépett a közös együttműködésből; nemlinearitás)
- Az 5/2004 ÉME szerinti 60 to alapértékű jármű (4 ponton $40 \times 40 \text{ cm}$ -es feltámaszkodással) és a 9 kN/m^2 alapértékű egyidejűleg ható hasznos terhelés ,
- A beton pályatábla alsó és felső ele fölött +/- 5C-os hőmérséklet-különbségű terhelés
- Terhek variálása , azaz a gépkocsit a rendszer szélére, közepére, stb. helyeztük.
- A számítások szerint a feltámaszkodó (kvázi) úszólemezt vasalni kellett.

2. AZ S-65 ALULJÁRÓ ÉPÍTÉSE

2.1 Az építést megelőző laboratóriumi kísérletek **Kocsis Ildikó**

- A híd felszerkezteléhez szükséges minimum C 50/60 NSZ/NT transzportbeton összetételét kísérletsorozattal határoztuk meg :
 - az építkezés organizációs körzetében beszerezhető alapanyagok felhasználásával,
 - figyelembe véve a munkahelyet kiszolgáló betonkeverő gépek műszaki adottságait.
- Vizsgáltuk a friss **beton tartósságát részben meghatározó tulajdonságait (repedési viselkedését nem)**
 - a megszilárdult beton 2, 7, 28 és 90 napos nyomószilárdságát,
 - vízzáróságát,
 - fagyállóságát,
 - fagy- és olvasztósó állóságát,
 - a beton klorid-ionok behatolásával szembeni ellenálló képességét
 - kopásállóságát.
- A vizsgálatok eredményeiről Kocsis Ildikó számol be a következő előadásban.
- A normál betonhoz képest a nagy teljesítőképességű betonok vízzárósága és kopásállósága jobb, fagyállósága, fagy- és olvasztósó-állósága valamint a klorid-ionok behatolásával szembeni ellenálló képessége lényegesen jobb.

2.1. Az építést megelőző laboratóriumi kísérletek



- CEM III/A-S 42,5 N kohósalak portlandcementtel készült NT betonok vízzárósága, fagyállósága, fagy- és olvasztósó-állósága valamint a klorid-ionok behatolásával szembeni ellenálló képessége ugyanolyan jó, mint a CEM I 42,5 N portlandcementtel készült betonkeveréké.

2.4. Építés különleges tervezési feladatai

A híd felszerkezetének építése az alábbi technológiai folyamatokra bontható:

- A tervek alapján egy közel vízszintes, elforgatott helyzetű híd zsaluzata megtervezése.
- Vasszerelés, feszítőkábelek, korlát és acélszegély lehorgonyzó szerelvényeinek elhelyezése tervezői kontrollal.
- Betonozás, felületképzés, utókezelés.
- Feszítés tervezői kontrollal.
- Zsaluzat részleges bontása után a süllyesztés/forgatáshoz szükséges hidraulikák elhelyezése.
- Zsaluzat bontása.
- A híd végleges helyére süllyesztése/forgatása tervezői kontrollal.
- Saruk elhelyezése, aláöntése.
- A híd sarukra helyezése, hidraulika eltávolítása

A süllyesztés-beforgatás:

- A zsaluzat mozgási koordinátáinak meghatározására a híd AUTOCAD 3D modellje.
- Ezt felhasználva számítottuk lépésenkénti, tervezett geometriai adatokat.
- A beforgatáshoz a támasz fölött, a felszerkezet keresztgerendái alatt emelőajtókat helyeztünk el, melyeken speciális felületén a híd függő és vízszintes mozgásait végezte. (Az emelőajtókat nem az egyébként a geometriából következő legmegfelelőbb helyekre, hanem csak oda lehetett helyezni, ahol a végleges saruk beépítését nem zavarták.) A beforgatásnál a **repedésmentesség kritériuma**: a szomszédos támaszok közötti süllyesztés különbség nem lehetett 1 cm-nél nagyobb.
- A munkafolyamat során folyamatosan mértük az egyes támaszoknál létrejött elmozdulásokat, valamint a hidraulikáknál ébredő reakcióerőket. (A híd mozgatása ugyan egy előre kiszámított táblázat szerint történt, de a várható értékeket visszatápláltuk a helyszínen telepített számítógépes statikai programba és ezzel folyamatosan kontrolláltuk, a felszerkezetben fellépő pillanatnyi elmozdulásokhoz tartozó igénybevételeket (feszültségeket), és összevetettük a számolt és mért reakcióerőket. Előre meg tudtuk határozni a következő lépés hatását.)
- A híd terv szerinti helyzetbe kerülése után elhelyezésre kerültek a saruk és az alátámaszok
- Ezután a hidraulika tehermentesíthető volt, majd eltávolításra került.

3. MEGÁLLAPÍTÁSOK:

- Az NSZ/NT beton felszerkezetű híd megépítésével a VEGYÉPSZER ZRt és a MAHÍD 2000 ZRt pótolhatatlan és értékes tapasztalatokat szerzett a tervezéstől a betonösszetétel meghatározásán át a konkrét építésig.
- Hazánkban eddig nem alkalmazott új számítási és szerkezeti megoldásokat, betontechnológiai kísérleteket és építési technológiákat alkalmaztunk, a kivitelezésben szakmai gyakorlatot szereztünk.

3. MEGÁLLAPÍTÁSOK:

- A vízcement-tényező csökkentésével, folyósítószer és megfelelő betonösszetétel alkalmazásával sikerült előállítani egy olyan felszerkezetet, amely tartósabb a normál betonhoz képest. Konkrét kísérleteink a különböző NSZ/NT beton-keverékekkel és egy normálbetonnal igazolták a – külföldön már megtapasztalt – nyomószilárdság, vízzáróság, fagy és olvasztósó állóság, valamint a beton kloridionnal szembeni ellenállóság lényeges (többszörös) növekedését a normálbetonhoz viszonyítva, és ezzel együtt a beton kopásállósága is (a vizsgált normálbetonnal együtt) kielégíti a legszigorúbb kritériumot XK4(H).

3. MEGÁLLAPÍTÁSOK:

- Ha a **szerkezet**/elem globális **tartósságát** a nyomószilárdság, vízzáróság, fagy és olvasztósó állóság, a kloridionnal szembeni ellenállás, kopásállóság és a repedezettség alapján definiáljuk, és miután NSZ/NT betonokkal ezeket a tulajdonságokat (a normálbetonhoz képest) a repedezettség kivételével többszörösére emeltük, akkor nyilván való, hogy az összes elem között a „leggyengébb láncszem” repedésmentességet is növelni kell, amennyiben a globális tartósságot is növelni akarjuk.
- Ugyanakkor az 5/2004-es ÉME (EC) alapú tervezéssel a repedezettséget konkrétan 60%-al nagyobb igénybevételre ellenőriztük, mint a jelenlegi előírások szerinti igénybevételek. (A feszítőerő növelésével ezt növelhetjük pl.70- 80%-ra is.)
- Tehát ha elkezdünk EC alapon tervezni, és tudatosan választjuk meg az NSZ/NT szerkezet feszítésének mértékét, akkor a tartósságot akár 50-80%-al is növelhetjük, a jelenleg érvényes szabványok alapján tervezett normálbeton hidakhoz képest. A tartósság nő, a fenntartási ciklusidő csökken.
- **Ennek nemzetgazdasági szinten óriási a jelentősége, mert a hídfenntartási források az NSZ/NT hidállományra így lényegesen (akár 80%) is csökkenthetők (a normálbeton hidállományhoz képest)!**
- **Az analógia a magaséptésre is kiterjeszhető (természetesen további vizsgálatokkal)**

3. MEGÁLLAPÍTÁSOK:

- Az alkalmazott folyós konzisztenciájú NSZ/NT beton bedolgozása közel vízszintes – maximálisan 2-3%-os esésű - zsaluzatban könnyen megoldható. Az ennél nagyobb oldalesés biztosításához speciális technológiát kell kidolgozni.
- Bizonyítottuk, hogy az általunk Magyarországon először alkalmazott beforgatási–süllyesztési technológiával egy bonyolult híd esetében is alkalmazható az NSZ/NT beton.

3. MEGÁLLAPÍTÁSOK:

- Az NSZ/NT beton hidépítésben történő felhasználásához a vonatkozó szabványok és útügyi előírások korszerűsítése, bővítése, illetve újak kidolgozása szükséges.
- Az üzemeltetés-fenntartás tapasztalatainak leszűrése és értékelése azért is fontos, mert a hídszerkezeti megoldások és csomópontok, a betontechnológia és a bedolgozás módjának tökéletesítését ezen tapasztalatok birtokában kell megoldani. A gazdaságosságra is hatással vannak az üzemeltetés és fenntartás tapasztalatai. A gazdaságosságot a tartósság függvényében kell vizsgálni.
- További vizsgálatok szükségesek a szilárdulás, kúszás, zsugorodás, hidratációs hőfejlődés időfüggvényeinek megállapítására, és azok szerkezetre gyakorolt hatása területén.

3. MEGÁLLAPÍTÁSOK:

- A nagy szilárdság miatt a kisebb szerkezeti magasságú, karcsú, könnyebb, ugyanakkor kisebb duktilitással is rendelkező NSZ/NT hidaknál a dinamikai és fáradási számítási eljárások bevezetése indokolt.
- Tekintettel a kedvező tartóssági tulajdonságokra javasolható a normál beton szerkezeteknél elfogadott 3-5 cm-es betontakarás mérséklése is.
- Tömeges alkalmazás esetén a felületképzésre gépi technológia kifejlesztését tartjuk indokoltnak.

4. TOVÁBBI TERVEZÉSEK NSZ/NT BETONBÓL

- 4.1. Zalaegerszegi gyaloghíd vasbeton pilon alépítmény (L=2x27m)



4.1. Zalaegerszegi gyaloghíd vasbeton pilon alépítmény (L=2x27m)



4.2. Zalaapáti kerékpárúti kosárfüles Zala-híd feszített vasbeton pályaszerkezete L=44m



Köszönöm
megtisztelő
figyelmüket.
Dr Farkas János