



KÖZÚTI ÉS MÉLYÉPÍTÉSI SZEMLE

56. ÉVFOLYAM 9-10. SZÁM

2006. NOVEMBER

tartalom

1 DR. GÁSPÁR LÁSZLÓ

Az élettartam-mérnöki tudomány utügyi alkalmazásának lehetőségei

5 KOLOZSI GYULA–HUNYADI MÁTYÁS–WELLNER PÉTER –NÉMETH IMRE–SZALAI TIBOR

Épülő nagyhidak Magyarországon

11 DR. KELETI IMRE–GRABARITS JÓZSEF–DR. GYÖRGY PÁL –FÁBIÁN MIKLÓS–PANKOTAI CSABA

Az M6 autópályává fejleszthető autóút Szekszárd-Bóly szakasza alagútjainak tervezése

19 FAY MIKLÓS–SUBERT ISTVÁN–KIRÁLY ÁKOS

Egy földmü-tömörsegi anomália feltárása és megoldása

24 PETHŐ LÁSZLÓ–SIK CSABA

Kisforgalmú utak gazdaságos pályaszerkezetei

29 DR. RIGÓ MIHÁLY

Életveszélyes szakadékok az utak mellett

31 KAREL POSPISIL–JOSEF STRYK–JIŘÍ POKORNÝ –VLADIMÍR DOLEŽEL

Betonburkolatú autópályák építése és fenntartása a Cseh Köztársaságban

35 NEMZETKÖZI SZEMLE

FELELŐS KIADÓ László Sándor (Magyar Közút Kht.)

FELELŐS SZERKESZTŐ Dr. Koren Csaba

SZERKESZTŐK Dr. Gulyás András

Rétháti András

Szőnyi Zsolt

Dr. Tóth-Szabó Zsuzsanna

A címlapon, a borító 2. oldalán megjelent fotók

Gyukics Péter felvételei.

KÖZÜTI ÉS MÉLYÉPÍTÉSI SZEMLE

Alapította a Közlekedéstudományi Egyesület.

A közlekedésépítési és mélyépítési szakterület mérnöki tudományos havi lapja.



TANÁCSADÓ TESTÜLET:

Apáthy Endre, Dr. Boromisza Tibor, Csordás Mihály

Dr. Farkas József, Dr. Fi István, Dr. Gáspár László

Hórvölgyi Lajos, Huszár János, Jaczó Győző

Dr. Keleti Imre, Dr. Mecsi József, Molnár László Aurél

Pallay Tibor, Dr. Pallós Imre, Regős Szilveszter

Dr. Rósa Dezső, Schulek János, Schulz Margit,

Dr. Schváb János, Dr. Szakos Pál, Dr. Szalai Kálmán,

Tombor Sándor, Dr. Tóth Ernő, Varga Csaba,

Veress Tibor

A cikkekben szereplő megállapítások és adatok a szerzők véleményét és ismereteit fejezik ki és nem feltétlenül azonosak a szerkesztők véleményével és ismereteivel.

1. Előzmények

Az 1980-as évek végén a finn Asko Sarja professor vetette meg az élettartam-mérnöki tudomány (lifetime engineering) alapjait [1]. Azóta Nyugat-Európában számos nemzeti és nemzetközi téma foglalkozott elsősorban a lakóépületek, az ipari létesítmények és kisebb mértékben a hidak területén történő alkalmazásával, egyre több gyakorlati eredményt mutatva fel [2-8]. 2003-ban szakkönyv is jelent meg a témában [9]. Ugyanilyen tájt nemzetközi konferenciát is rendeztek a finn Kuopio-ban [10].

Az Európai Unió V. Tudományos és Technológiafejlesztési Keretprogramja részét képező egyik koordinációs téma (a 2002. és 2005. között művelt „Élettartam-mérnöki tudomány”) művelésére alakult konzorcium magyar tagja, a cikk szerzője a közel-múltban jelentette meg az egyik hazai szakfolyóiratban az első ilyen témájú cikket [11], szakkönyve [12] is röviden kitért az alapelvekre.

Jelen cikk az új tudományág legfontosabb jellemzőinek bemutatása után, az útügyi alkalmazás területeit taglalja, majd pedig olyan gyakorlati és elméleti, hazai útügyi eredményeket sorol fel, amelyek a tervezett adaptálást megkönnyíthetik.

2. Az élettartam-mérnöki tudományról röviden

Az elmúlt évtizedek egyik fontos eredménye volt, hogy az utak-hidak építésével-felújításával kapcsolatos kezelői döntések egyre inkább továbbléptek a jelenben felmerülő költségek számbavételén, amennyiben az egész élettartam alatti költségeket veszik számításba, kitérve az úthasználóknál jelentkező kiadásokra. A döntések megalapozásához ezért a várható állapotváltozást, a jövőbeni beavatkozások jellemzőit, a különböző állapotszintek mellett felmerülő használati költségeket is figyelembe veszik, ezért terjednek a bonyolult számítógépes programokon alapuló útburkolat- és hídgyártási rendszerek [12]. Az élettartam-mérnöki tudomány kidolgozásakor még egy lépéssel továbbmentek, amennyiben a szóban forgó infrastruktúra teljes élettartama alatt nem csupán a pénzügyi jellegű kiadásokat veszik a tervezéskor figyelembe, hanem az esetleges környezeti, társadalmi és kulturális következményeket sem mellőzik. A maradékérték, az újrahasznosítás és a hulladékdeponálás is lényeges szerepet kap az élettartam-mérnöki tudomány alapelvei között.

Az élettartam-mérnöki tudomány annak az ellentmondásnak a feloldására született, hogy az infrastruktúra (így a közlekedési infrastruktúra is) hosszú – 50-100 éves – élettartamú, ugyanakkor pedig a tervezésével, a kezelésével és a fenntartásával kapcsolatos döntések általában csak rövidebb (10-20 éves) időszakokra vonatkoznak.

Az élettartam-mérnöki tudomány fő elemei a következők [9]:

- a beruházás életciklus tervezése és az azzal összefüggő döntéshozatal,
- a komplex (integrált) életciklus tervezés,
- az építési anyagok későbbi újrahasznosítása, újrahasználata, a hulladékdeponálás,
- az élettartam alatti komplex környezeti hatások felmérése és minimalizálása.

Az először épületekhez kifejlesztett élettartam-mérnöki tudomány fő módszertanát, célkitűzését abban lehet összefoglalni, hogy a különböző (elsősorban műszaki jellegű) teljesítményi

paramétereknek az egész élettartam során olyan szinten történő tartására törekszik, amely meghatározott gazdasági (pénzügyi), környezeti, emberi és kulturális igények kielégítését lehetővé teszi. Ez a komplex közelítési mód igényli, hogy a hagyományos infrastruktúra-tervezés (építészmérnök, szerkezetépítő mérnök, közlekedésépítő mérnök) mellett más tudományok képviselőinek (matematikusnak, fizikusnak, rendszer-elemzőnek, környezetmérnöknek stb.) is be kell a team-munkába kapcsolódnuk.

Az élettartam-mérnöki tudomány tevékenységével a fenntartható fejlődéshez kíván hozzájárulni, amennyiben hozzásegít ahhoz, hogy a jelenben felmerülő igényeket a jövő (a következő generáció) igényeinek kielégíthetőségét nem kockáztatva leheszen kielégíteni.

3. A tudomány utakhoz történő adaptálásának lehetőségei

A következőkben az élettartam-mérnöki tudomány néhány, eredetileg nem utakhoz tervezett elvének az útügyi területén történő hasznosíthatósági területére mutatok rá. (Nem az eddigi gyakorlat alapvető megváltoztatásáról van szó, csupán annak bizonyos mértékű kiegészítéséről).

3.1. A komplex úttervezés egyes jellemzői

Az élettartam-mérnöki tudomány elveit követő komplex, az egész élettartamra kiterjedő úttervezés célszerű lépései a következők:

- a megrendelői/használói igények (pl. az úton kényelmes közlekedés biztosítása vagy a forgalombiztonság folyamatos fenntartása) rögzítése,
- a tervező (team) a megrendelői igényeket teljesítményi mérőszámokká alakítja (pl. alacsony IRI-érték vagy nagy SFC-érték),
- olyan tervvariánsok készítése, amelyek a sokirányú, súlyozott megrendelői/használói igényeket, hosszú ideig – lehetőleg az üzemi élettartam végéig – ki tudják elégíteni,
- különböző kritériumok rögzítése (pl. építési költség, beavatkozási ciklusidő), amelyek, különböző súllyal, az egyes tervvariánsok összehasonlítására szolgálnak,
- optimalizálás, azaz az alapul vett kritériumrendszernek leginkább megfelelő tervváltozat kiválasztása,
- méretezés, azaz az optimálisnak tekintett változat részletes megtervezése, másképpen fogalmazva a megrendelő/használói igények kielégítésének optimalizálása.

Ez a korszerű tervezési mód a hagyományos reakciótervezéstől a tartóssági tervezés felé mozdul el, amennyiben az időt, mint új dimenziót hangsúlyozottan figyelembe veszi. A tervezési feladat így, természetesen, sokkal bonyolultabb, hiszen olyan tényezők jövőbeli alakulását és az útpályaszerkezet viselkedésére gyakorolt hatását kell előzetesen felmérni, mint például:

- a pályaszerkezet egyes rétegeinek, az ismételt forgalmi és környezeti terhelésre bekövetkező fáradása, amely szélső esetben tönkremenetelhez vezet,
- a termoplasztikus kötőanyagok között leggyakoribb útépí-

¹ okl. mérnök, okl. gazd. mérnök, az MTA doktora, kutató professzor, Közlekedéstudományi Intézet Kht, egyetemi tanár, Széchenyi István Egyetem gasparl@freestart.hu

tési bitumen – a hajlékony pályaszerkezetek viselkedésének meghatározó tényezője – az idő függvényében jelentősen változó tulajdonságokat mutat, ha az a levegő oxigénjének hatására fokozatosan keményedik (öregszik),

- a hidraulikus kötőanyagú, pályaszerkezeti rétegeknek várható viselkedésük szempontjából alapul vett szilárdságát általában 28 napos korukban határozzák meg; a valóságban azonban a cementnek, de még inkább a pernye-kohósalak alapú kötőanyagoknak jelentős az utószilárdulása, amely a szóban forgó pályaszerkezeti rétegek mechanikai jellemzőit is nagy mértékben befolyásolja,
- a nehéz forgalom hatására, az út üzemeltetése következtében a nem eléggé ellenálló kőzetekből készült zúzottkőzúzalék kisebb-nagyobb mértékben aprózódik, és így egyre több kötőanyaggal bevonatlan törési felület keletkezik, amely a pályaszerkezeti réteg húzószilárdságára kedvezőtlen befolyást gyakorol,
- közismert, hogy a tervezett útszakasz forgalmi jellemzőinek előrebecslése meglehetősen bizonytalan; az alapul vettől lényegesen eltérő forgalom nagyság és/vagy forgalomösszetétel önmagában indoka lehet a váratlan állapotváltozásnak,
- nem megfelelő üzemeltetési viszonyok mellett és/vagy nem tervezhető árvíz, illetve belvíz esetében a földmű és/vagy a kötőanyag nélküli pályaszerkezeti rétegek teherbírása ugrásszerűen csökkenhet, és az előre számítottnál sokkal gyorsabban bekövetkező burkolatromláshoz vezet.

Ebből a néhány kiragadott példából is látható, hogy milyen sok tényezőt lenne szükséges már a tervezés stádiumában tekintetbe venni, hogy a tervezett és a valóságos burkolatviselkedés, illetve -élettartam érdemlegesen közelítsen egymáshoz. Nyilvánvalóan, korábban készült útszakaszok alapos utóvizsgálata szolgáltathat olyan eredményeket, amelyek a felsorolt elveket a gyakorlatba is sikeresen átültethetőkké teszik.

3.2. Környezeti szempontok a komplex úttervezésben

Az élettartam-mérnöki tudomány elveit követő úttervezés a környezeti szempontokra is különös hangsúlyt fektet. A következő szempontok kerülnek itt előtérbe:

- a felhasznált alapanyagok minél nagyobb mértékben másodlagos nyersanyagok legyenek, akár ipari melléktermékek (pl. kohósalakok, pernye), akár pedig újrafelhasznált bontott aszfalt, beton stb. formájában, ily módon egyrészt ezeknek a másodlagos nyersanyagoknak a tárolásával, deponálásával kapcsolatos környezeti problémák szüntethetők meg, másrészt pedig értékes és általában csupán korlátozott mennyiségben rendelkezésre álló elsődleges nyersanyagok (pl. zúzottkövek, cement) takaríthatók meg,
- a tervezőnek arra is törekednie kell, hogy lehetőleg kis energiaigényű pálya-szerkezeteket tervezzen, figyelembe véve egyaránt az alapanyagok előállításakor (előkészítéskor), a keverékgyártáskor, a beépítéskor, az üzemeltetés alatti fenntartáskor-felújításkor, a bontáskor és a hulladékdeponáláskor fellépő energia-szükségletet.
- a tervezésnek kell azt is előírnia, hogy az egyes pályaszerkezeti rétegek anyaga milyen mértékben és milyen célokra hasznosítható,
- a környezeti tervezés része az alapanyagokkal, a keverékkészítéssel, a bedolgozással, a fenntartással, a felújítással és az üzemeltetéssel kapcsolatos levegőszennyezés lehetőség szerinti minimalizálása; ez a célkitűzés nem csupán a helyi

egészség-károsodások megelőzését célozza, hanem olyan globális problémák súlyosbodásának elkerülésére is szolgál, mint a globális felmelegedés, vagy pedig az ózonlyuk-képződés,

- az előbbiekhöz hasonló alapelvű, az egész útélettartamra vonatkozó tervezést igényel a talajszennyezés, a vízszennyezés és a közlekedési gördülő zaj képződése is.

3.3. Az életciklus alatti minőség megtervezése

Az utaknak az élettartamra vonatkozó komplex megtervezése tulajdonképpen az egész időszak alatti minőség, valamint a tulajdonosi és használói elvárásoknak megfelelő teljesítmény előirányzását jelenti. Ennek érdekében akár az a megoldás is szóba jöhet, hogy a tervező – a gépkocsik esetében már hosszú idő óta elterjedt módon – „használói kézikönyv”-et állít össze, amelyben a jövőendő kezelő számára előírja, hogy az milyen technológiával és milyen időbeli sűrűséggel végezzen fenntartási munkákat, a tervezett életciklus minőség biztosításának elősegítése érdekében.

Az egész élettartam alatti minőség fő elemei a következők:

- pénzügyi szempontok (egyetlen alkalommal és ismételten jelentkező kiadások a teljes élettartam során),
- környezeti vonatkozások (az alapanyag, az energia és a környezetszennyezés már említett kérdéseinek kívül a hulladékgazdálkodás, valamint az állat- és növényfajok kihalásának megakadályozása, a biodiverzitás biztosítása is fontos feladat, ez utóbbira példa az autópályák feletti vagy alatti vad- vagy hullóátjárók létesítése),
- emberi, humán szempontok (az út funkciójának folyamatos kielégítése, az emberi egészségre ártalmas építőanyagok alkalmazásának elkerülése, a forgalombiztonság, az utazáskényelem),
- kulturális szempontok (autópálya-építés előtt régészeti feltárás, a készülő közúti létesítmények esztétikus megjelenésének biztosítása).

Olyan gyakorlati kérdésekre is célszerű már az úttervezés stádiumában kitérni, mint a bontott anyagok szelektív tárolása, amely a gazdasági és környezeti okok miatt nagy jelentőségű recycling (anyag-újrafelhasználás) hatékonyságának egyik fontos előfeltétele.

A komplex életciklus-tervezés során gondolni kell az esetleges továbbfejlesztési igények gazdaságos kielégítésére is. (Erre triviális példaként hozható fel, hogy olyan fél-autópályák tervezésekor, amelyeket belátható időn belül autópályára kívánnak továbbfejlesztetni, a műtárgyakat célszerű – már az első fázisban teljes szélességben elkészíteni, ahogyan az, egyebek mellett, az M7-es autópálya Lepsény és Zamárdi közötti szakaszán történt).

A tervezés gazdaságossági vonatkozására jó példaként említhető, hogy a tervezett létesítmény viszonylag hosszú beavatkozási ciklusidőkkel készüljön, illetve ha a leromlott állapot igényel is valamilyen felújítási technológiát, az minél kevesebb, úthasználói költségeket (közlekedésüzemi költséget, idővesztés-költséget és baleseti költséget) növelő forgalom-zavarással járjon [13].

A környezeti (ökológiai) kérdések köréből a csekély légszennyezéssel működő aszfaltkeverő-telepek választása, a nagy tömegű alapanyag szállításhoz a viszonylag környezetbarát közlekedési módok (vizi és vasúti szállítás) kombinálása a közúti változattal, valamint újszerű anyagok (pl. modifikált bitumen tartalmú aszfaltkeverékek, rosttartalmú nagyszilárdságú betonok) bontás utáni újrahasonosításakor felmerülő problémák megol-

dása vagy legalábbis enyhítése hozható fel példaként.

Az egész élettartamra kitekintő komplex úttervezés során az emberi egészségre ártalmas anyagok alkalmazásának előirányzását, természetesen, el kell kerülni. Példa erre a kátrány útépítési kötőanyagként történő alkalmazása, amely addig világszerte – így hazánkban is – elterjedt volt, ameddig rákkeltő hatását ki ne mutatták. Egyes ipari melléktermékeknél (pl. a bázikus pernye) a rádióaktivitás szintjének ellenőrzésére van szükség annak biztosítására, hogy az adott felhasználási technológia mellett sem az építéskor, sem pedig az üzemeltetéskor egészségi kockázatot ne jelentsen. Más ipari melléktermékek (pl. a kohósalaknak) az esetenként megengedettnél nagyobb nehézfém (pl. CrVI) tartalma hasonlóképpen folyamatos ellenőrzés tárgyát képezze, és ez már az életciklus tervezés során előirányzott feladatként jelentkezik.

Az élettartam-mérnöki tudomány keretében történő komplex tervezés a modularitás elveit követi. Messzemenően figyelembe veszi azt a közismert tényt, hogy az egyes infrastruktúra-elemek élettartama (de legalábbis a szükséges beavatkozások közötti ciklusideje) jelentős mértékben eltér egymástól. Helytelen ezért, például, az utak aszfalt anyagú kopórétegét, amely általában legfeljebb 15-20 éves ciklusidejű, az alsó pályaszerkezeti rétegek és a földmű akár 50-100 éves élettartamához igazodóan, különösen nagy mechanikai, illetve fáradási ellenállású alapanyagokból készíteni, amelyek alkalmazása felesleges, kihasználatlan költségtöbbletet okozna.

Az egyes eltérő ciklusidejű (élettartamú) pályaszerkezeti rétegek között a komplex tervezés méretkoordinációt igényel, erre két példa:

- az alsóbb pályaszerkezeti rétegek kis mértékű szélesítése a függőlegeshez képest 30-45o-os szögben történő teherátadást segíti elő,
- a félig merev pályaszerkezetek hosszabb időszakra tervezett, hidraulikus kötőanyagú rétegeinek vastagsága (és szilárdsága) nem tervezhető függetlenül a rákerülő aszfaltrétegek hasonló jellemzőitől, ez a méretkoordináció a pályán megjelenő reflexiós repedések elleni védelem egyik hatékony eszköze.

Az integrált úttervezés a különböző rétegek mérettűrése tekintetében sem hagyhatja figyelmen kívül a koordinációt. Nyilvánvaló ugyanis, például, hogy már a földműtűkör felületi egyenletességének és abszolút szintjének szigorú követelményeknek kell – csekély mérettűrés mellett – megfelelniük. Az egyes pályaszerkezeti rétegeknél felfelé haladva mind kisebb mérettűrést (pl. vastagsági eltérést vagy felületi hullámmagasságot) lehet megengedni annak érdekében, hogy majd a pálya (burkolatfelület) szintje és felületi egyenletessége az előzetesen megfogalmazott szigorú megrendelői/használói követelményeket biztonságosan ki tudja elégíteni.

Az elmúlt évtizedben világszerte terjedő teljesítmény alapú szabályozás (performance based specification) és az ezek alapján kötött tervezői-építési szerződések [14] szintén az élettartam-mérnöki tudomány alapelveinek az utak esetében történő érvényesülésének fogható fel.

4. Néhány hazai „részeredmény”

A nem túlságosan nagyszámú külföldi példából egyet említ meg, amikor is Finnországban ún. élettartam-orientált útgazdálkodási rendszer alapjait vetették meg [15]. Etalonszakszok rendszeres megfigyelésének eredményei alapján a hosszú távú burkolatviselkedésről tájékozódtak, számba vették az útburkolatok lehetséges tönkremeneteli típusait, valamint az

útvagyon értékének nyomon követéséhez, illetve az élettartam végén a maradékérték meghatározásához olyan alapelvű könyvelést vezettek be, amely az időközbeni beavatkozásokat érték-növelő tényezőként, míg a pályaszerkezeti rétegek fáradását, kopását értékcsökkentőként regisztrálja.

Hazánkban az elmúlt néhány évtizedben számos olyan elméleti és gyakorlati eredmény született, amely – bár egyáltalán nem ez volt az eredeti célkitűzés – az élettartam-mérnöki tudománynak a közeljövőben remélhetőleg nálunk megvalósuló, az útügyben történő adaptálásakor hasznos kiindulási alapul szolgálhatnak. Ezek közül a következők a legfontosabbak:

- 1979. óta rendszeresen sor kerül a teljes országos közúthálózat megfelelőségi vizsgálatára, amely egyebek mellett, a hálózati szintű állapotinformációk és azok idősorainak megismerését teszi, lehetővé [16],
- 1981-ben került sor először az országos közúthálózat (beleértve a hídállományt) bruttó értékének becslésére, azóta mintegy 5 éves gyakorisággal, csupán kissé módosított módszertannal, megismétlik az értékbecslést [17], és ezzel a közúti vagyongazdálkodás alapvető feltételét biztosítják,
- 1990-ben, a Világbank kívánságára, először került sor hazánkban az egyes közúti felújítási létesítmények tervezéséhez kapcsolódó gazdaságossági számításra, amely 15-20 éves időszakra, a különböző időpontokban felmerült, de az első évre diszkontált költségeket, valamint az ugyanezen időtartam alatti hasznokat (költségcsökkenést) számítva a tervezett projektek belső megtérülési együtthatóját teszi meghatározhatóvá [18], azóta a jelentősebb létesítmények előzetes gazdasági értékelése általánossá vált,
- 1991-ben kezdődött és már 16. éve tart 62 etalonszakasz évenkénti állapotvizsgálata, az ezek állapot-idősorai segítségével, 14 útszakasz-osztályban meghatározott hálózatviselkedési modellek [19, 20] és az a tény, hogy a különböző beavatkozás-típusok tényleges állapotjavító hatását sikerült felmérni [21] az élettartam-mérnöki tudomány utakra történő adaptációja során rendkívül hasznos létesítményi szintű információt biztosít,
- sikeresen folyik a különböző externális (pl. környezeti) hatások internalizálása, azoknak az értékelő-számítási modellekbe történő bekapcsolása.

5. Javaslatok

Az élettartam-mérnöki tudománynak az elmúlt évtizedben külföldön számos infrastruktúra-típusra vonatkozólag tapasztalt elterjedése az abban rejlő előnyökre bizonyítékkal szolgál. A cikkben leírtak szerint a tudomány alapelveinek a hazai útügyben történő bevezetése, adaptálása szintén indokolt. Megítélesem szerint, ezen a területen a közeljövőben a következő célszerű lépésekre lenne szükség:

- az élettartam-mérnöki tudomány alapelveinek, illetve azok hazai útügyben történő alkalmazásának széles körű megismertetése a magyar szakemberek és döntéshozók körében,
- a döntéshozók (és az érdekelt szakemberek) támogatásának megnyerése a tervezett adaptáció kérdésében,
- a már elért hazai eredmények és a külföldi esettanulmányok áttekintése után munkaterv készítése,
- a szükséges hiányzó kutatási tevékenység végrehajtása,
- a szükséges új irányelvek, szabályozások első változatának elkészítése,
- mintaprojektek tervezése, a komplex úttervezési elvei alapján,

- a mintaprojektekkel kapcsolatos tapasztalatok összegyűjtése és értékelése,
- az előbbieik alapján a végleges irányelvek szabályozások kiadása,
- az érdekeltek (főleg tervezők) koordinált oktatása, illetve továbbképzése,
- az élettartam-mérnöki tudomány alapelvein működő komplex (integrált) úttervezés országos körű bevezetése,
- a tapasztalatok rendszerezett gyűjtése, a későbbi visszacsatolás lehetőségének biztosítása érdekében.

Irodalom

1. Sarja, A.: Principles and solutions of the New System Building Technology (TAT). Research Report 662. Technical Research Centre of Finland, Espoo, 1989.
2. Sarja, A.: Environmental design methods in materials and structural engineering. CIB Information, 4 (96) 1996, pp. 23-25.
3. ISO/DIS 1568-1. ISO TC 59/SC14. Guide for service life design of buildings. Draft Standards 2000.
4. Sarja, A.: Some principles of integrated structural design. Structural Engineering International (SEI), 1/1997, pp. 59-60.
5. Sarja, A. and Vesikari, E.: Durability Design of Concrete Structures. RILEM Report Series 14 E&FN Spon: 1996, London.
6. Norris, G.A. and Marshall, H.E.: Multiattribute Decision Analysis Method for Evaluating Buildings and Building Systems. NISIR 5663. 1995. National Institute of Technology: Gathersburg, MD.
7. ASTM E 917-94 Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems. ASTM E06.81 Building Economics
8. Zairi, M. and Youssef, M.A.: Quality function deployment: a main pillar for successful total quality management and product development. International Journal of Quality and Reliability Management, 1995. 12(6), pp. 9-23.
9. Sarja, A.: Integrated Life Cycle Design of Structures. Spon Press 2002. London and New York.
10. Proceedings of 2nd International Symposium on Integrated Life-time Engineering of Buildings and Civil Infrastructures. 2003, Kuopio, Finland.
11. Gáspár L.: Az élettartam mérnöki tudomány. Közlekedéstudományi Szemle, 2003/3. pp. 81-85.
12. Gáspár L.: Útgazdálkodás. Akadémia Kiadó, 2003. 361. p.
13. Gáspár L.: Innovatív útfenntartási technológiák hosszú távú hatékonysága. Közlekedéstudományi Szemle, 2005/4. pp. 122-129.
14. Gáspár L.: Az útburkolatok teljesítőképessége. Közúti és Mélyépítési Szemle 2004/11. pp. 7-12.
15. Kalliokoski, A. and Kasari, T.: Life Cycle of Road Structures in Road Construction Practice. ILCDES 2003, Proceedings, Kuopio, pp. 349-354.
16. Töröcsik F.-Rósa D.-Tóth E.: A magyar országos közúthálózat megfelelőségi értékelése. Mélyépítéstudományi Szemle 1980/6.
17. Az országos közutak értéke – 2000-2001. Gazdasági és Közlekedési Minisztérium. Közúti Főosztály, Budapest, 2002.
18. Gáspár, L.: Influence of the Pavement Condition to the Traffic Safety. First Croatian Road Congress, Opatija, 1995.
19. Gáspár, L.: Hálózatviselkedési modellek etalonszakaszok megfigyeléséhez. Közúti Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Szemle 1997/3.
20. Gáspár, L.: The use of trial section monitoring in the further development of Hungarian PMS. 9th International Road Conference Budapest, 2006, CD-ROM Proceedings.
21. Gáspár, L.: Pavement condition before and after rehabilitation. The International Journal of Pavement Engineering & Asphalt Technology, Volume 5, Issue 1, 2004, pp. 15-28.

Summary

Application possibilities of lifetime engineering for highways

The basic principles of lifetime engineering have been recently developed, primarily for buildings. The article presents that these principles can be readily utilised in the highway field, as well, based on several former Hungarian theoretical and practical results.

Tunnel design on the Szekszárd-Bóly section of M6 Expressway (p. 11)

Dr. Imre Keleti – József Grabarits – Dr. Pál György – Miklós Fábrián – Csaba Pankotai

The construction permit of the referred section (between km Sta 127-174) of the M6 Expressway (to be developed into motorway at a later stage) has been issued in March 2006, including four road tunnels in a total length of 3 kilometres. This was the first case of granting permit to road tunnel construction in Hungary. The economic, environmental and technical advantages of constructing tunnels instead of deep cuttings were thoroughly justified during the preliminary phases of the design. The proposed method of tunnelling by mining was the so called New Austrian Tunnelling Method (i.e. gun concrete method), being suitable under very diverse geological conditions (e.g. loose, sedimentary rock). The geometrical features of the design and the equipment to be applied were determined by the relevant new Hungarian technical regulatory framework ÚT 2-1.405:2003. Maintenance and operational issues covered among others traffic management modes and related equipment, energy supply, lighting, ventilation, firewater supply, telecommunication equipment, incident detection and information technology systems, complex monitoring and control systems.

Discovery and solution of an earthwork compaction discrepancy (p. 19)

Miklós Fay – István Subert – Ákos Király

During the construction of the 15 km long section of M7 Motorway between Zamárdi and Balatonszárszó about 2,5 million m³ earthfill material had to be produced from approx. 5 km long cutting, in order to construct the earthworks. During the test compaction phase compaction measuring discrepancies appeared, drawing the attention to the compactibility test, namely the relative (reference) density determined by the modified Proctor test. It has been revealed that the caulking hammer investigation resulted in material slacking, and thus the maximum dry density values have been increased. As a result of the investigations, explanation has been provided for such a rare phenomenon, which may show up again in the future road construction projects. The rejection of applying the dynamic compactness measuring method may have meant a pronounced economic risk, which was luckily solved in the presented case. The lesson learned is that in the case of low compactness values the potential error of the relative (reference) density shall always be considered.

1. Bevezetés

Magyarországon 1962-ben kezdődött el a gyorsforgalmi hálózat kiépítése. 2002. végéig 625 km-re bővült a hálózat, amiből 536 km volt az autópálya. 2006 végéig a hálózati hossz eléri a 812 km-t. A 2003 előtt épült szakaszok zömében sík-, vagy dombvidéki jellegű tájon vezetnek keresztül. A folyópályák alul- és felüljárói zömében előregyártott feszítettbeton gerendákkal kialakított felszerkezetekkel épültek. Csupán négy nagyobb, egyedi kialakítású híd építésére volt szükség, amelyek közül kettő a Duna, egy-egy a Rába és Tisza felett vezeti át az M0 autótút déli szektorát, valamint az M9 autótutat, illetve az M1 és az M3 autópályákat.

Magyarország 1999. évben belépett a NATO-ba és 2004. évben tagja lett az Európai Uniónak. A felgyorsuló gazdasági fejlődés szállítási és közlekedési igényeinek megfelelni akarva az elmúlt évek alatt a gyorsforgalmi hálózat fejlesztési tervét törvényben rögzítették. A fejlesztés révén az elkövetkező évtizedben a gyorsforgalmi hálózat hossza a tervek szerint csaknem megduplázódik, és 2015-re 1 107 km autópályából és 1 473 km autótútból álló, összesen 2 580 km-es hálózat a terv.

A nagyarányú fejlesztés részeként 2005-2007. években három egyedi kialakítású nagyhíd is épül. Ezeket a közép-európai viszonylatban méreteikben nagy műtárgyakat mutatja be a cikk, felvillantva azok innovációs vonatkozásait, némely tekintetben világviszonylatban is kiemelkedő műszaki adatát, avagy megépítésük technológiájának egyedi sajátosságait.

A hidak tervezésében, építésében és építésközi mérnöki ellenőrzésében hazai mérnököket, technikusokat, szakmunkásokat foglalkoztató cégek dolgoznak. E cégek számára elsősorban a megnövekedett feladatok finanszírozása és azok végrehajtása, szervezése jelentette a fő gondot.

Az M0 Budapest körüli autópálya-gyűrű északi szektora részeként az új Duna-híd megvalósítása 2006. év tavaszán megkezdődött. A ferdekábeles mederhidat és a hozzá kapcsolódó négy másik hídszakaszt a Hídépítő Zrt és a Strabag Zrt által alkotott konzorcium építi.

Az M7 autópálya Balaton melletti szakaszán a Kőröshegyi völgyhíd építése 2004. év közepén kezdődött meg. A Hídépítő Zrt kivitelezésében épülő, az áthidalt völgy felett 80 m legnagyobb magasságban vezetett 1872 m-es vasbeton völgyhíd a 2007. évben Magyarország leghosszabb hídja lesz.

Az M8 autópálya részeként Dunaújváros közelében épül egy új Duna-híd. Külön érdekessége az egy darabban beúsztatásra kerülő 9000 t súlyú, szépen megformált két ferde síkban befelé dőlő, közepén felül összetámasztott ívet tartalmazó vonógerendás ív szerkezetű mederhíd, amelynek fesztávolsága 307,8 m és szélessége 43 m. A híd építését a kivitelező Vegyész Zrt és Hídépítő Zrt által alkotott konzorcium jó ütemben végzi.

2. A Budapest körüli autópálya gyűrű északi Duna-hídjának építése

A híd a főváros északi határánál, a Budapest körüli M0 autópálya-gyűrű részeként épül meg. Tervezője a CÉH Zrt. A Magyarországon folyami hídnál eddig nem alkalmazott, ferdekábeles híd építési terveinek elkészítése szinte a teljes

magyar hídtervező szakma összefogásának, együttműködésének eredménye. A tervezést konzultánsként segítette a Leonhardt András & Partner és a Dynamik Consulting GmbH mérnöki iroda. A szélcsatornás modellkísérleteket a PSP Technologien (Aachen) végezte.

A forgalmi és teherbírési követelmények mellett a környezetvédelem, az esztétika, a külső megjelenés és forma kiemelt szerepet kapott a tervezésnél. Budapest vízellátását biztosító Duna balparti árterület és a híd által érintett Szentendrei sziget fokozottan védett területek. Ezért a szigetre a hídról nem lehet lejárni. A környezet védelme érdekében a sziget feletti szakaszon a híd két oldalán zajárnyékoló fal épül. Az árvédelmi töltések közötti szakaszon az utat csak hídszerkezettel volt szabad átvezetni. Ezért az új híd áthidalja a Duna főágát (Váci Duna), a Szentendrei sziget déli részét, a Szentendrei Duna-ágot és az árterületeket. Így a híd teljes hossza 1 862 m.

A híd szerkezetileg öt részből áll, az alábbi támaszközökkel:

- bal parti ártéri híd: 37 + 2×33 + 45 m,
- Duna-főági híd: 145 + 300 + 145 m,
- Szentendrei szigeti ártéri híd: 42 + 11×47 m,
- Szentendrei Duna-ág hídja: 94 + 144 + 94 m,
- jobb parti ártéri híd: 43 + 3×44 + 43 m.

Az ártéri hidak vasbeton felszerkezettel készülnek, a folyami hidak acélszerkezetűek. A 2 × 2 forgalmi sávú autópálya átvezetésére épülő híd sorozat amennyiben a forgalom jövőbeni növekedése megköveteli, a kétoldali leálló sávok megszüntetésével a 2 × 3 forgalmi sávúra bővíthető, a hídszerkezet átalakítása nélkül. A híd északi oldalán mozgássérültek közlekedésére is alkalmas kerékpárút, a déli oldalon gyalogjáró épül. A kocsipálya burkolata aszfalt, a gyalogjárók kopás- és sókorrózióálló, érdesített bevonatot kapnak. A hídon közvilágítás és hajózást-, repülést tájékoztató fényjelző rendszert helyeznek el.

A híd alapozása nagy átmérőjű SOIL-MEC technológiával épített fúrt vasbeton cölöpökkel történik. Cölöpök a Duna felső kavicssterasza alatt található oligocén korú, kemény, nagy teherbírású agyagmárga rétegben állnak. A mederben készülő pillérek alapozása a több magyar folyami hídnál már alkalmazott és bevált vasbeton kéregelem védelme mellett készül. A mederpillérek az áramlástan szempontból kedvező csúcsíves kialakításúak, az orr-rész fagyálló gránit burkolattal épül.

Az ártéri hidak pillérei falszerű oszlopokon elhelyezett konzolos szerkezeti gerendával készülnek. A felszerkezet ezeken két-két darab sarura fekszik fel. A mészki burkolattal ellátott hídfőkben belső terek kerülnek kialakításra (pl. transzformátor és kapcsoló helyiségnek, közmű kamráknak). A hídfők oldalán lépcsőn és rámpán lehet feljutni a felszerkezet járdájára.

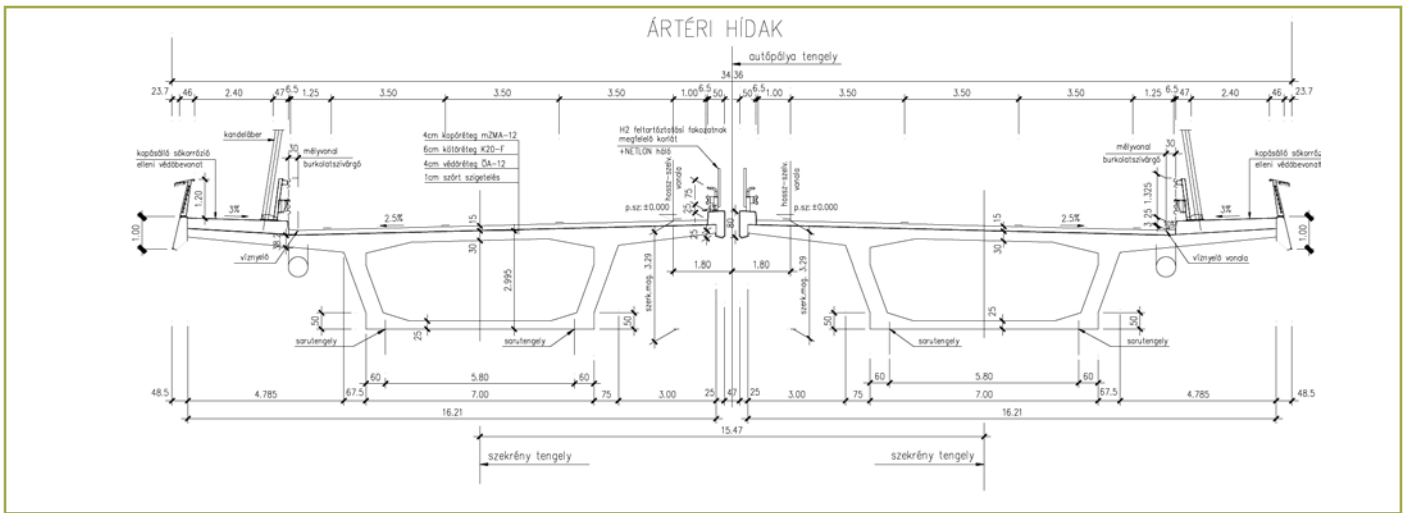
¹ Okleveles mérnök, VIA-PONTIS Kft, a PIARC TC 4.4 bizottság tagja, viapontis@t-online.

² Okleveles mérnök, CÉH Zrt, (Az M0 északi Duna hídjának építése), hid@ceh.hu

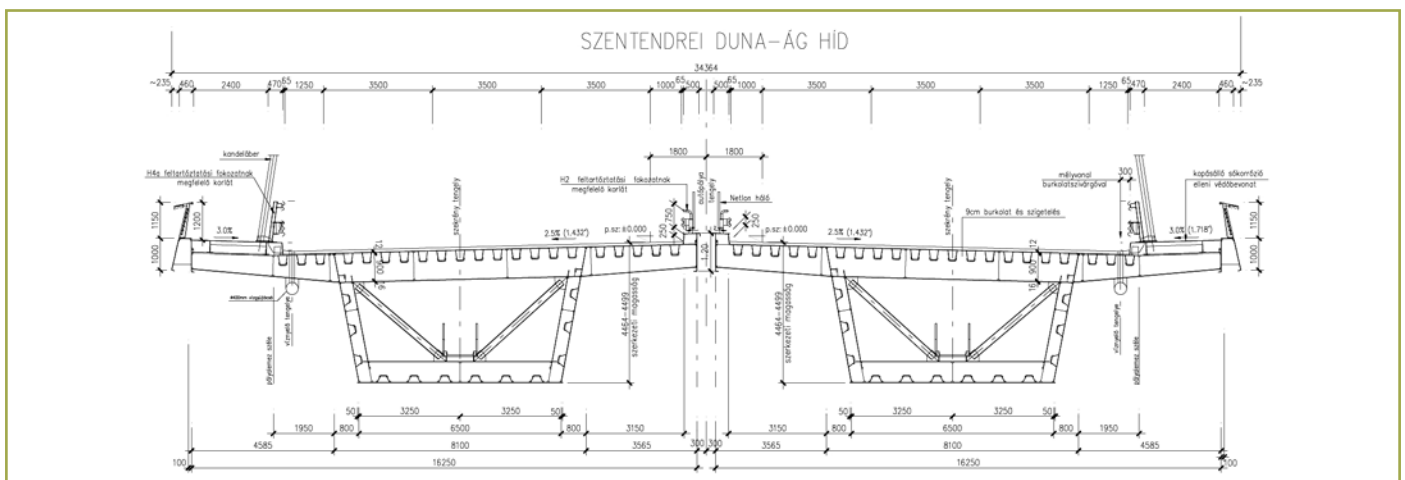
³ Okleveles mérnök, Hídépítő Zrt (A Kőröshegyi völgyhíd építése), wellner@hid.hu

⁴ Okleveles mérnök, Vegyész Zrt, (A Dunaújvárosi Duna-híd építése), nemeth.imre@vegyesz.hu

⁵ Okleveles mérnök, Vegyész Zrt, (A Dunaújvárosi Duna-híd építése), szalai.tibor@vegyesz.hu



1. ábra: Az M0 északi híd ártéri szakaszának keresztmetszete



2. ábra: Szentendrei Duna-ág szakaszának keresztmetszete

Az ártéri hidak folytatólagos szekrény keresztmetszetű feszített vasbeton szerkezete (1. ábra) gyártópadon készül, ahonnan tengelyirányú előretolással betolócsőr segítségével kerül a terv szerinti helyére. A betolási technológiának megfelelően a szekrény alsó síkja keresztirányban vízszintes, hosszirányban a híd hossz-szelvényével azonos esésű. A pályalemez felső síkja az útpálya hossz- és keresztirányú esését követi. A szekrénytartó tengelye párhuzamos az út helyszínrajzi nyomvonalával, kivéve a jobb parti ártéri híd, ahol az út átmeneti íve miatt helyettesítő körívet alkalmaztunk az előretoláshoz.

A Szentendrei Duna-ág híd tengelye a sodorvonallal 80° -os szöget zár be. A pillérek párhuzamosak a sodorvonallal, a felszerkezetek merőleges kialakításúak. A híd háromnyílású folytatólagos párhuzamos övű ortotróp pályalemez egy cellás acélszerkezetű szekrénytartó, két oldalt konzollokkal. A ferde gerinclemezes keresztmetszetet (2. ábra) 4,00 m-enként rácsos keresztmetszetek, a támaszok felett pedig tömör keresztmetszetű merevítők. A változó magasságú konzolok szabad végét a korlátokkal harmonizáló szegélytartó zárja le. A szerkezet gyári és helyszíni illesztései hegesztettek. A szerelótéren összeállított hídszerkezetet a már több hídnál sikeresen alkalmazott beúsztatásos technológiával juttatják a terv szerinti helyére.

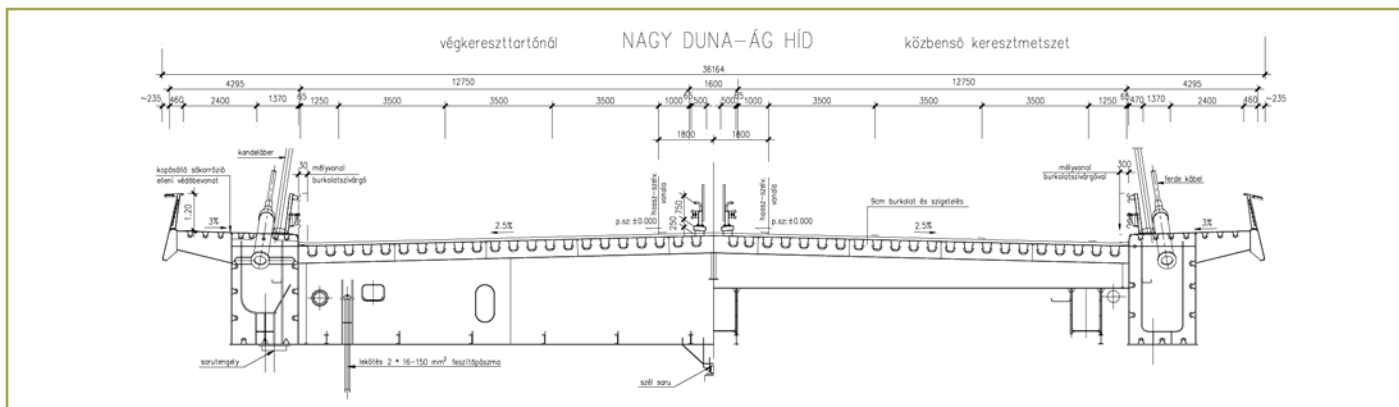
A Duna főágában (Váci-Duna) Magyarországon közúti folyami hídnál eddig még nem alkalmazott ferdekábeles hegesztett acél hídszerkezet épül (3. ábra). A híd háromnyílású, két pilonú, legnagyobb nyílása 300 m. A kábelek legyezőszerűen két síkban 12 m-ként függesztik fel az acél merevítőtartót. A merevítőtartó, illetve a pályaszerkezet közepén légrés nélkül készül a kétoldali kábel felfüg-



3. ábra: Az M0 északi híd váci Duna-ágon átvívelő ferdekábeles híd oldalnézete

gesztés miatt. A bal és jobb pálya közepén szegéllyel és korláttal van elválasztva. A felszerkezet teljes szélessége 36,83 m, szerkezeti magassága 3 625 mm. A középső nyílásban van a híd hossz-szelvényének tetőpontja, mely innen két irányban a partok felé lejt. A merevítőtartó teljes egészében hegesztett ortotróp pályalemezű acélszerkezet, a felfüggesztések alatt zárt szekrénytartóval (4. ábra).

A szekrények közötti rész nyitott. A kábelhorgonyzások tengelytávolsága hídtengelyre merőlegesen mérve 29 800 mm. A szekrénytartók külső oldalán konzolok támasztják alá a járdákat. A merevítőtartót kábelsikonként 4x11 db, az egész hídszerkezetet 88 db térbeli kábel függeszti fel a pilonra (5. ábra).



4. ábra: Az M0 északi híd Nagy Duna-ág ferdekábeles híd keresztmetszete

A statikai számítás során figyelembe vettük, hogy szükség esetén lehetőség legyen egy-egy kábel cseréjére. Ilyen esetben elegendő csak a kábelcsere szempontjából érintett szélső forgalmi sáv lezárása, egyéb forgalmi korlátozás nem szükséges.



5. ábra: A térbeli kábelek

A két „A” formájú pilon feszített vasbeton szekrény keresztmetszetű. Magassága az alépfülménytől 100 m, külső mérete 3x5 m. A pilonszárak belsejében lifteken lehet megközelíteni a kábelek különböző szinteken lévő lehorgonyzó-kamráit. A pilon-szárak és az összekötő gerenda közötti háromszög acélkeretre szerelt homlokzati üvegfalal és egyedi formatervezésű világítótestek fokozzák a híd esztétikai megjelenését.

3. A Kőröshegyi völgyhíd építése

A mind Magyarországon, mind külföldön nagy érdeklődést keltett Kőröshegyi völgyhíd az M7 autópálya 121+776 km szelvényében, a Balaton mellett épül. A híd tervezője a Hídépítő Zrt. és a Pont-Terv Zrt. A bonyolult felszerkezet tervezési és építés alatti ellenőrzési munkákban a magyar tervezőket az erőtan számítás ellenőrzésével, és a lehajlási értékek számításával a Leonhardt, András & Partner GmbH, a szerelőhíd tervezésével és szállítással a Peiniger Rörö GmbH, a dilatációs szerkezetek és hídsaruk tervezésével és szállítással a Maurer Söhne GmbH és a feszítő fejek és feszítéshez használt gépek szállítással a Dywidag Systems International GmbH segítette.

A Budapestről Horvátország és Szlovénia irányában épülő M7 jelű autópálya az európai észak-déli, Trieszt-Kiev közötti V. Helsinki folyosó része lesz. A Balaton déli partján a késő jégkorszak által alakított dombvidék völgyeit és nem túl magas hegyvonulatait mintegy 80 m magasban keresztezi a megtervezett nyomvonal. Az előzetes tanulmányokban az építendő vizsgálat egy a völgy felett alacsonyabban vezetett pálya építésének

lehetőségét, azonban a rövidebb híd esetén annak két végén építendő két alagút költségeit jelentősen magasabbnak vélték a tervezők.

A híd 1 872 m hosszú, vízszintes értelemben 4 000 m sugarú ívben, hosszirányban állandó 2,86% esésben fekszik (6. ábra). A folytatólagos, többtámaszú, feszített vasbeton szerkezet alapozása 1,2 méter átmérőjű fűrt vasbeton cölöpökkel történik. Az elkészült cölöpök hossza több mint 19 km. A cölöpöket összefogó vasbeton szerkezet a középső hat támasznál egyenként megközelíti a 2 000 m³-t.

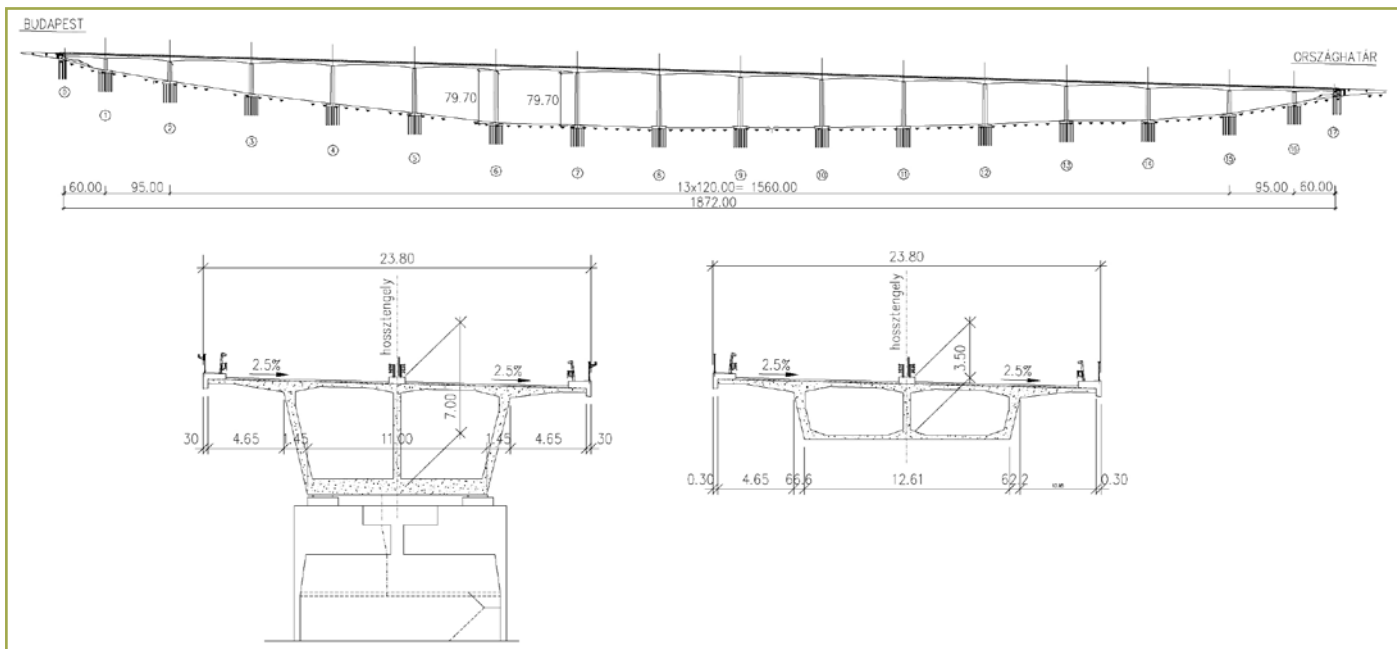
A pillérek üreges vasbeton szerkezetek. A felszerkezet a támaszok felett 7 m, a nyílasközépen 3,5 m magas konzolos, kétcéllás, 23,8 m széles szekrénytartó. A híd támaszközei: 60+95+13x120+95+60 m.

Az építésnél a szabadbetonozásos technológiát alkalmaznak a kivitelezők. A magyar és külföldi gyakorlatban szabadbetonozásos technológiával épült már 120 m szabad nyílású híd, azonban a Kőröshegyi hídnál épülő 17 nyílása egyetlen folytatólagos szerkezet lesz. A felszerkezet építését egyedi, különleges zsaluzó kocsi és a kivitelezést segítő 156 m hosszú szerelőhíd teszi lehetővé (7. ábra).

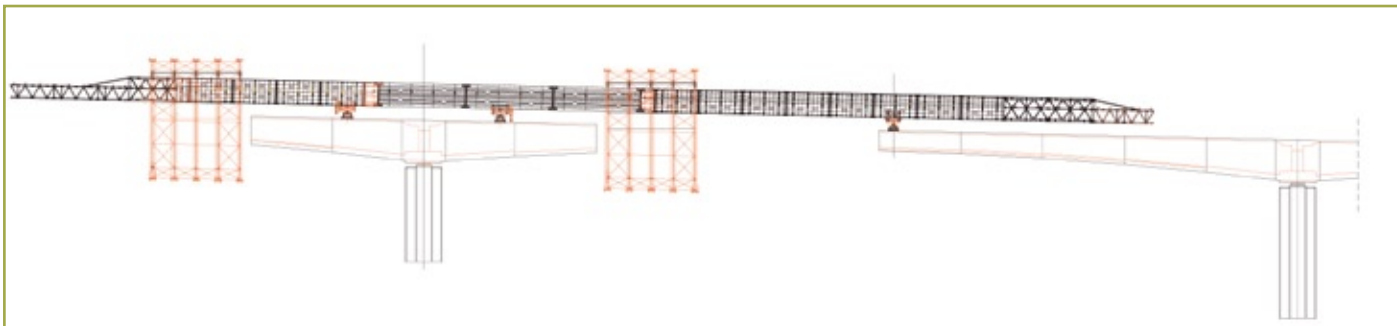
A hazai viszonylatban szokatlan 80 m magas pillérek épülő híd kivitelezésére rendkívül szűk időszak áll rendelkezésre. A szoros határidő miatt az egyébként hasonló szerkezetek építésénél szokásos 5 m körüli hosszúságú elemek helyett a Kőröshegyi völgyhídnál 11,25 m hosszú elemek épülnek. A megnövelt elemhosszak miatt az átállások, a zsaluzat előretolások időtartama miatt idővesztés jelentősen csökkenthető. A fenti szigorú peremfeltételek egyszerre történő megoldása, a tervezőket, az építőket és az azok munkáját ellenőrző mérnököket különleges feladat elé állította.

A kivitelezést végző Hídépítő Zrt. a versenytárgyalás nyerteseként a Megbízó Nemzeti Autópálya Zrt-től megkapta az engedélyezési terveket és a saját technológiai felkészültségét is figyelembe véve készíthette el a nem mindennapi szerkezet kiviteli terveit. A szerkezet tervezése során kiemelt szempont volt az építés közbeni stabilitás. A megszokottnál jóval bonyolultabb egy ilyen szerkezet geodéziai ellenőrzése. A 80 m magasság miatti szélnyomás, a napsugárzás, az építési és önsúlyterhek okozta elmozdulások, időben változó alakváltozások, követésére elemenként készül ellenőrző számítás és mérés.

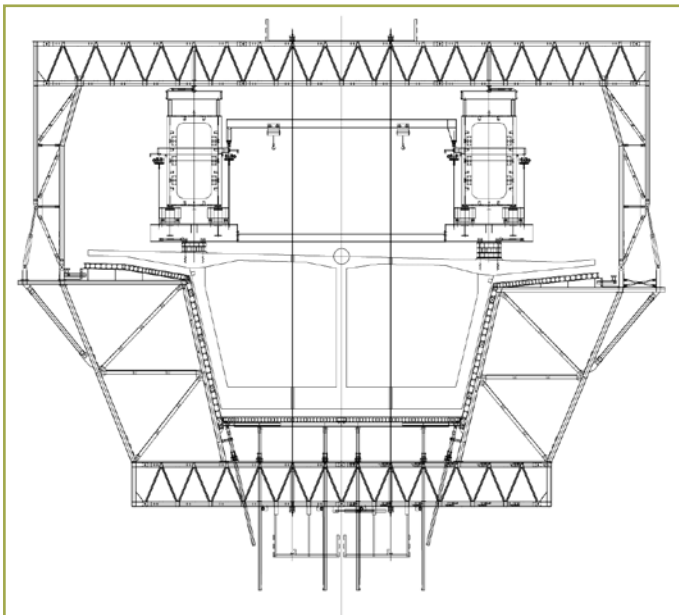
A különlegesen hosszú és különlegesen széles – ebből következtében különlegesen nagy súlyú – hídszakaszok feszítés előtti hordásához természetesen különlegesen nagy teherbírású zsaluzó kocsira van szükség. A szükséges teherbírás mintegy 700 tonna. A kivitelező a zsaluzókocsik megtartására szerelő hidakat alkalmaz (8. ábra).



6. ábra: Az M7 köröshgyi völgyhídjának hosszmetsete és jellemző keresztmetsetei



7. ábra: A szerelő híd és a zsűző kocsi



8. ábra: A szerelő híd és a zsűző kocsi keresztmetsete

A bonyolult, 160 db hidraulikával mozgatható szerelőhíd és zsűző kocsi több összetett művelet biztonságos végzésére is alkalmas:

- egy elem zsűzítésének, vasszerelésének és betonjának hordására;
- a szerelés közben a konzol-pár stabilitásának biztosítására;
- az egyik elemről a következőhöz történő előre mozgatására;

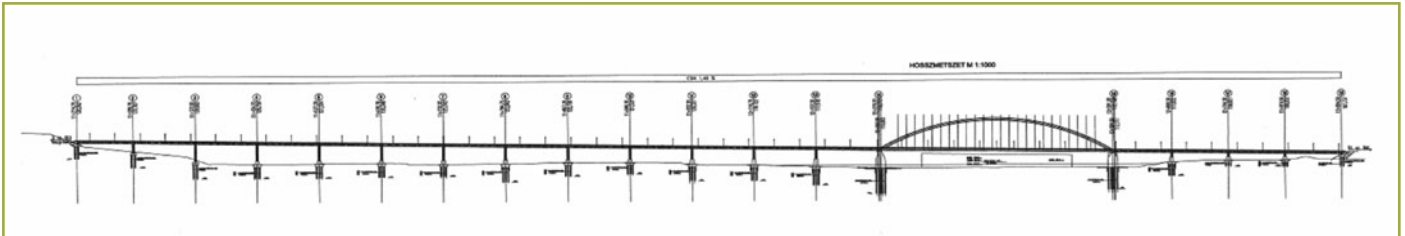
- az építési anyagok felemelésére a terepről;
- az építési anyagok beszállítására a már elkészült híd részről a zsűző kocsigig;
- egy hídág elkészülte után a zsűző kocsi átszállítására a következő pillérre.

A kivitelezés a híd két végéről, a hídfőktől egyszerre kezdődött meg. A hídfők közötti összesen 16 db pillér közül 10 db magasabb, mint 65 m, a legmagasabbak pedig megközelítik a völgy feletti 80 m-t (9. ábra).

A híd építéséhez összesen mintegy 120 000 m³ beton szükséges. Az ilyen nagy mennyiségű, az alépitményeknél C35/40, a felszerkezetenél C45/55 minőségű betonkeverékeknek



9. ábra: A híd építési állapota 2005. augusztus elején



10. ábra: Az M8 autópálya dunaújvárosi Duna-hídjának hosszmetaszete

a híd építéstechnológiája által megkövetelt előállítására csak a kivitelezés helyszínén telepített nagy kapacitású betonkeverő üzem képes. A gyártóműből folyamatosan érkező cementnek nincs ideje kihűlni, a keverés időszakában a betonkeverék hőmérséklete még télen is meghaladja a 35-40 C°-ot. Az építési ütem gyorsítása érdekében a kivitelező 2006. év közepén technológiát váltott. Az új módszer szerint 650 t súlyú elemeket a híd alatt előregyártják és párban felemelve szabad szereléssel folytatják az építést.

Az 1 872 méter hosszú híd természetesen nagy mozgásképeségű dilatációs szerkezet beépítését tesz szükségessé a két hídfőnél. Az 1 400 mm mozgást lehetővé tevő dilatációs szerkezet egy közepes földrengés által keltett mozgások elviselésére is képes és olyan kialakítású, hogy a vízzárás követelménye mellett a forgalom miatt jelentkező zaj mértékét jelentős mértékben csökkenti.

A különlegességeket, építési specialitásokat, szokásostól jelentősen eltérő dimenziókat tartalmazó völgyhídról a 2007-ben arra utazók, a hídról teljes szépségében láthatják majd a Balatont és annak gyöngyszemét a Tihanyi félszigetet, a kilencszáz éves Apátsággal.

4. A Dunaújvárosi Duna-híd építése

A Budapesttől mintegy 70 km-re délre Dunaújvárosnál létező (tizennyolcadik magyarországi) 1 682 m hosszú Duna-híd az M8-as autópályát 2x2 forgalmi sávval vezeti majd át a folyam és ártere fölött, a várostól délre. A Duna jobbparti löszplatója csaknem 30 m-rel magasabb, mint a bal parti ártéri rész. A löszfalról állandó 1,46%-os eséssel leereszkedő híd három fő részből áll.

Első szakasza a 7 000 m sugarú vízszintes ívben fekvő, 1067,6 m hosszú, 13 nyílású, két egymás mellett elhelyezkedő, acélszerkezetű ártér feletti jobbparti híd. Másodikként ehhez csatlakozik a 307,8 m fesztávú mederhíd, mely ívekre függesztett merevítő gerendás szerkezet. Harmadik hídszakaszként a balparton négynyílású, 302,5 m hosszú, a jobbpartihoz hasonló kialakítású, de egyenes tengelyű ártéri szerkezet vezet a hídfőhöz (10. ábra).

Az autópálya keresztmetaszet átvezetését szolgáló ártéri hidak teljes szélessége 32 m, a mederhídé 43 m, amely az ívtartók többlet helyigénye miatt szélesebb. A híd acél ototróp pályaszerkezete és főtartó szerkezete összességében mintegy 23 000 t súlyú.

A híd tervezője a Főmterv Zrt, munkájukat a PontTerv Zrt és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem valamint a Pozsonyi Műszaki Egyetem segítette. A 2004. őszen elkezdődött kivitelezési munkára a VegyÉpZrt. és HídÉpítő Zrt. konzorciumot hozott létre.

A jobb-parti szilvamag keresztmetszeti formájú, igényesen tervezett pillérek alapozása 16-19 db, 1 500 mm átmérőjű, 14-25 m között változó hosszú, acél köpenyecsővel fúrt vasbeton cölöpből áll. A mederhidat tartó két pillér alapozása víz alatti SOIL MEC típusú cölöppel készült. A bal parton a kivitelező folytonosan betonozott fúrt cölöpeket épített meg. Az ártéri alépítmények

esetében a szádlemezes körülhatárolással épített cölöpösszefogó vasbeton lemezen a 25-31 m között változó magasságú pillérek kúszózsaluval készülnek (11. ábra).

A mederben 7-7 db egyenként 100 t súlyú vasbeton őrfal került elhelyezésre. A bűvárakkal ellenőrzött munkafázist követően az őrfalak alsó részén 2 m vastag víz alatti beton épült, annak érdekében, hogy a víz leszívása után a mederpillér felmenő részét szárazon építhetők legyenek. A pillértest további építése az ártéri

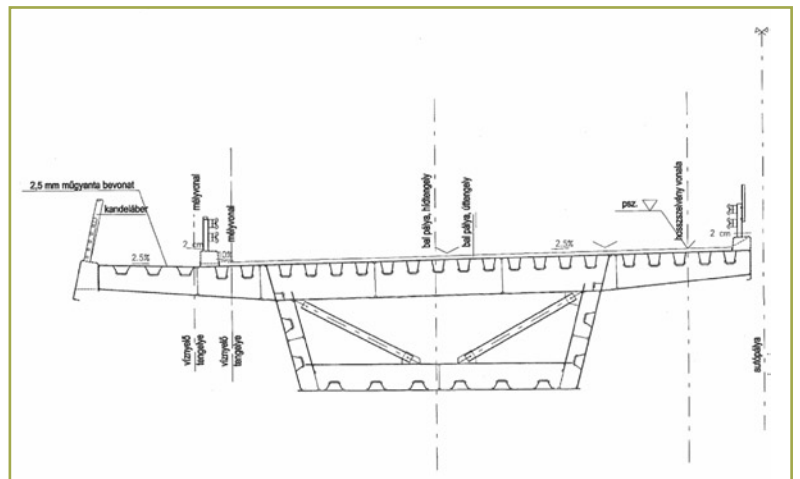


11. ábra: Az épülő híd látképe a jobbparttól nézve

szerkezetkehez hasonlóan, kúszózsaluval készülnek. A híd alépítményeihez összességében közel 70 000 m³ betont használnak fel.

A jobb-parton két, egymás mellett elhelyezkedő, ívben fekvő 1 067,6 m hosszú, 75,0+12x82,5 m támaszközü, míg a bal-parton két egyenes tengelyű, 302,5 m hosszú, 4x5,0 m támaszközü, 15,8 m széles, ferde gerincű, zártsekreányes, folytatatólagos, ortotróp pályalemezes acél gerendahíd épül (12. ábra).

Az ártéri hidak részelemeinek gyártása az ország több pontján történik. Ezek közül 38 db 100 t-ás szerelési egységhez tartozó hídlemet 200 km távolságból közúti szállítással jutnak el a helyszínre. A Budapesten gyártott és előszerelt további 130 db 100 t



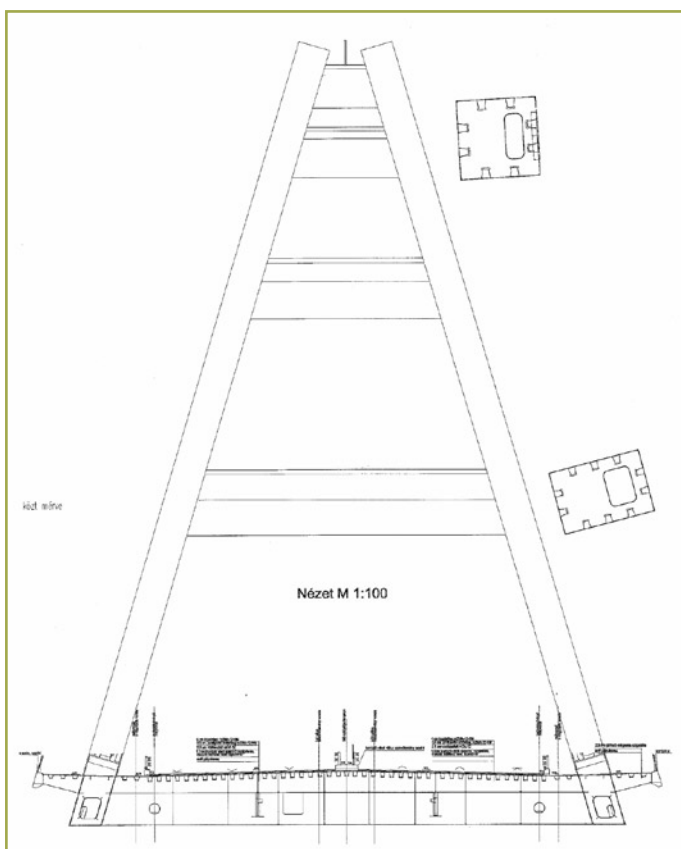
12. ábra: Az ártéri szerkezet keresztmetaszete

súlyú szerelési egységet – kihasználva a Duna folyó adta lehetőséget – vízen szállítják a helyszínre. A nagy súlyú elemek emelése 150 t emelő kapacitású úszódaruval történik. A világon elsőként készül ilyen hosszú acélhíd szakaszos előretolással, amelynek szerelési technológiája szintén egyedi megoldás.

Az ártéri részek helyszíni szerelése, a hídgyegek keresztmetszeteinek összehegesztése egy erre a célra kialakított állványzaton, a 2x2 hídelem elhelyezésére alkalmas indító jármon történik. A hídfőhöz csatlakozó első egységekkel kezdve egy úszódaru emeli be előbb a déli, majd az északi szerelési egységet. A keresztmetszetek összehegesztése után egy speciálisan ide kifejlesztett, számítógép vezérléssel összehangolt, hidraulikus, lánctalpas berendezéssel szakaszonként tolják előre a már kész hídrészt.

A 82,5 m tengelytávolságban lévő támaszok között nem épült segédjárom, helyette egy pillérekre támaszkodó, rácsos acéltartós „vendéghídra” függesztve jut előbbre a már kész hídszakasz. Külön nehézséget jelent, hogy ívben kell előretolni a szerkezetet egészen a hídfőig, a végén már több mint 1 000 m hosszon és mintegy 6 000 tonna önsúllyal. Egy keresztmetszet összehegesztése általában öt napot vesz igénybe, a tolás sebessége legfeljebb 20 cm/perc. Egy 17 m-es szakasz előre mozgatása általában 3 órát igényel.

A 307,8 m fesztávú mederhíd szerkezete vonógerendás, kosárfülű ívhíd (13. ábra). Vonógerendás, azaz az íverők vízszintes erőit a pályalemez alatti főtartók veszik fel, és kosárfülhöz hasonlítanak a közel 50 m magas ívek, amelyek ferde síkban befelé dőlnek középen összesimulva. A ferde szekrényes keresztmetszetű főtartókból és ortotróp pályaszerkezetből álló merevítő gerendákat kábelek függesztik az ívekre.



13. ábra: Az ártéri szerkezet keresztmetszete

Ebben a szerkezeti kialakításban a medernyílás egyedülálló a világban. A Budapesten legyártott és 100 tonnás elemek formájában vízen a helyszínre juttatott mederhíd részek összeszerelése a végleges helyhez közeli partszakaszon történik (14. ábra). A híd-

elemek beemelését a bárkákról a szerelőterre egy úszódaru végzi, míg a part felőli többi emelés egy 500 tonna teherbírású lánctalpas daruval történik.



14. ábra: A mederhíd szerkezetének szerelése a parton

Miután az ívhíd összeállítása befejeződött, befűzik a függesztőkábeleket, majd megfeszítik azokat. Ezáltal az addig folytatólagosan alátámasztott szerkezet kéttámaszúvá válik, és ekkor nyeri el végleges formáját. A 9 000 tonnás súlyú teljesen kész mederhidat 2x4 db 1 600 t teherbírású bárkával úsztatják be. A beúsztatás egyedi szakmai bravúrnak számít. Beúsztatás előtt hidraulikus sajtók segítségével 6 m magasra fel kell emelni a szerkezetet. A nagy érdeklődéssel várt beúsztatás időszaka alatt teljes hajózási zárlat lesz. A beúsztatott híd továbbemelése a végleges magasságába már a pillérekön történik, acél állványzat és hidraulikus emelők segítségével. A hídszerkezetek alapanyaga nagyrészt hasonló a parti hidakéhoz, de az ívek és a kapcsolódó merevítő tartók növelt folyáshatárú, finomszemcsés, termomechanikusan hengerelt S460 minőségű acélból készülnek. Magyarországon első ízben itt alkalmaznak ilyen minőségű acélt. A híd felszerkezet szerelése során létesített minden szerkezeti kapcsolatot, hegesztéssel alakítanak ki. A varratok teljes hossza több mint 300 km lesz.

A „kosárfülű ívhíd” várhatóan szép formájával közkedvelt látogatóhelye lesz a környékbeli lakosoknak és a messziről jövő érdeklődőknek 2007. évtől kezdődően.

jelentik az adott számú tartószerkezet tönkremeneteléhez rendelhető pontos értéket.

Summary

LARGE BRIDGES UNDER CONSTRUCTION IN HUNGARY

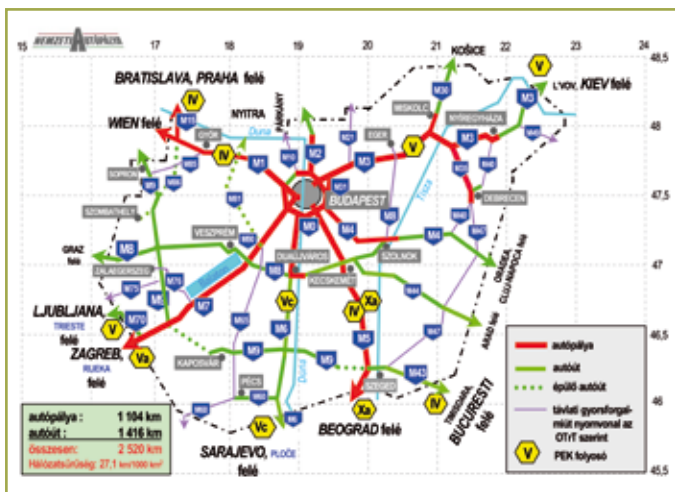
Within the frame of the development of the Hungarian motorway network, three new large bridges are being constructed, two of them over the Danube River. The Northern Bridge of the M0 motorway around Budapest will be a cable-stayed bridge with steel deck and concrete towers. The second new Danube Bridge at Dunaújváros of the M8 motorway is a through type steel bowstring arch with 307.8 m main span length. The third bridge is on the M7 motorway, by the Lake Balaton at Kőröshegy. The Hungarian record-breaker viaduct will be 1872 m long; its largest height above the ground is about 88 m. The superstructure is a reinforced concrete box-girder. The paper gives an overview of the design and construction process.

AZ M6 AUTÓPÁLYÁVÁ FEJLESZTHETŐ AUTÓÚT SZEKSZÁRD-BÓLY SZAKASZ ALAGÚTJAINAK TERVEZÉSE

DR. KELETI IMRE¹ – GRABARITS JÓZSEF² – DR. GYÖRGY PÁL³ – FÁBIÁN MIKLÓS⁴ – PANKOTAI CSABA⁵

1. Előzmények

A kormány 2044/2003 (III.14.) számú határozata a gyorsforgalmi úthálózat méretét 2015-re 2520 km-nek irányozza elő (1. ábra). E határozat alapján a 2003. december 22-én



1. ábra: A gyorsforgalmi úthálózat 2015-re tervezett mérete a 2044/2003 Korm. sz. határozat szerint

hozott 2003. évi CXXVIII. Törvény a Magyar Köztársaság gyorsforgalmi közúthálózatának közérdekűégéről és fejlesztéséről rendelkezik. Ennek 1. mellékletében az M6-os autópályát illetően a következők állnak:

- 2006. év végéig teljesen elkészül az M0-Dunaújvárosig terjedő 2x2 sávú autópálya szakasza,
- 2007. végéig kiépül a Szekszárd-Bóly 127-174 km szelvények közötti 2x2 sávú autópályává fejlesztendő autópályát (2. ábra).



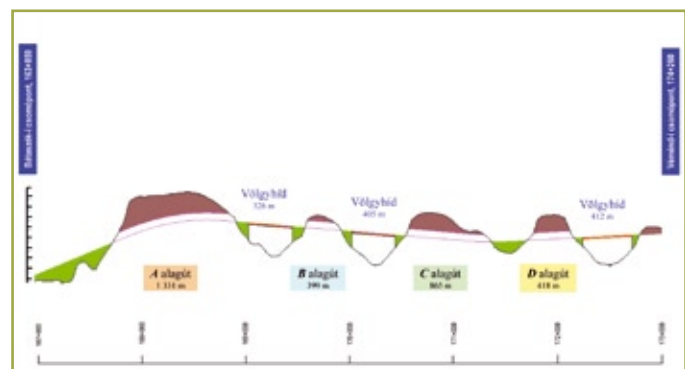
2. ábra: Az M6 Szekszárd-Bóly szakasza

A hivatkozott törvényt ez utóbbi állítása miatt bizonyos módosítani kell majd, hiszen 2006. derekán még nem

írták ki a Szekszárd-Bóly szakasz versenytárgyalását. Így ma nyugodtan állíthatjuk: a szóban forgó szakasz nem lehet kész 2007. végére. Viszont örömmel állapíthatjuk meg, hogy a szakasz, benne négy alagúttal, 2006. március 14-én megkapta az építési engedélyt. A magyar közúthálózat fejlesztésének történetében ez az első eset, hogy alagutak építését engedélyezték. Ezeknek a tervezésről számolunk be a következőkben. Ebben a munkában sikerrel debütált a „Közúti alagutak létesítésének általános feltételei” megnevezésű ÚT 2-1.405:2003 számú útügyi műszaki előírás⁶.

2. A projekt

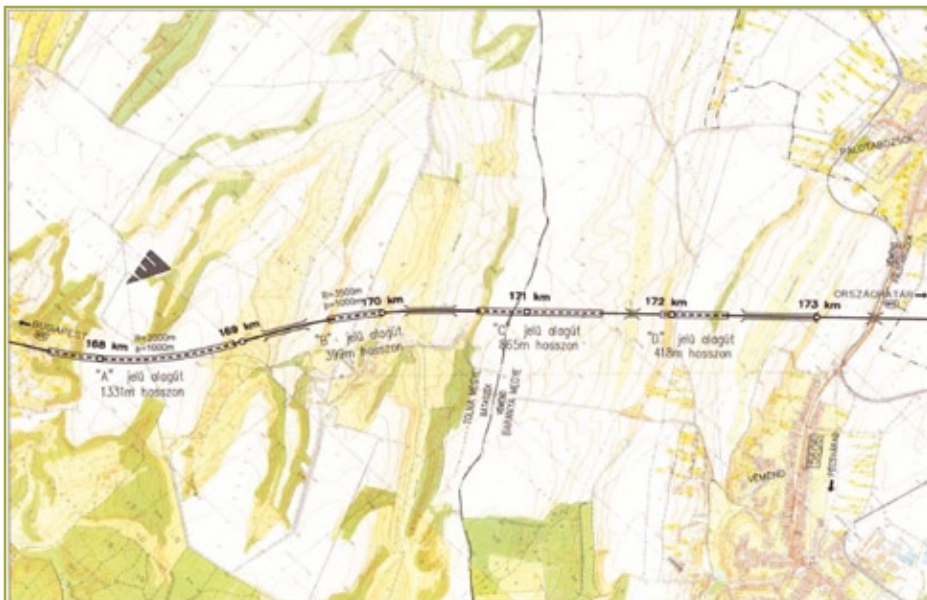
Az M6 Szekszárd-Bóly szakaszán a bátaszéki (163+859 km sz.) és véméndi (174+260 km sz.) csomópontok között a terepviszonyai olyanok, hogy a vonalat csak igen mély bevágásokban és hosszú völgyhidakon vezetve lehet elhelyezni. Az Előzetes Környezetvédelmi Hatástanulmányban bemutatott megoldás hossz-szelvényéből első közelítésben mintegy 9 millió m³ földfölfölösleg következett, aminek elhelyezési költségei körülbelül 10 MdFt-ra rúgtak. Ehhez járultak volna a 35-55 m mély bevágások okozta végleges tájsebek következményeként a felszámolásra ítélt értékes gyümölcs- és szőlőültetvények kisajátítási költségei. A mélybevágások helyén alagutakat is számításba vevő alternatív megoldás a földfölfölösleg elhelyezése okozta költségeket megszüntette és ebben az esetben természetesen fel sem merülnek a mélybevágásokból eredő kisajátítási költségek. Az alagutakkal is számoló hossz-szelvény optimalizálás (3. ábra) a szakaszon



3. ábra: Az M6 Bátaszék-Véménd szakasz optimalizált hossz-szelvényének vázlata

kisebb töltésmagasságokhoz is vezetett, amiből a szakasz kezdeti négy völgyhídjából egyet hullámosított acéllemezekből készülő felüljáróvá lehetett redukálni és a megmaradt három

¹ Okleveles építőmérnök, okleveles gazdasági mérnök, egyetemi doktor, ALAGÚTTERV Kft ügyvezetője. e-mail: drkiorka@t-online.hu
² Okleveles építőmérnök, CONSULTANT Kft, jozsef.grabarits@consultant.hu
³ Okleveles mérnök, okleveles geotechnikai szakmérnök, egyetemi doktor, CONSULTANT Kft. ALAGÚT-TERV Kft ügyvezetője. e-mail: pal.gyorgy@consultant.hu
⁴ Okleveles építőmérnök, okleveles gazdasági mérnök, ALAGÚTTERV Kft ügyvezetője. e-mail: fabian.miklos@t-online.hu
⁵ Okleveles építőmérnök, UNITEF'83 Zrt. irodaigazgató-helyettes, e-mail: pankotai@uniteftr.hu
⁶ Az előírást 2002-ben a MAUT megbízásából Dr. Greschik Gyula vezetésével Etényi Attila, Dr. Horváth Zsolt, Jakab Simon, Dr. Keleti Imre, Kovács Frigyes, Reinisch Egon, Soós Gábor és Szegő János dolgozták ki. A munka szakmai konzulense az ÁKMI Kht részéről Dr. Träger Herbert volt.



4. ábra: Az alagutak és völgyhidak elhelyezkedése az M6 Bátaszék-Véménd szakaszán

1. táblázat: A Bátaszék-Véménd szakasz alagútjainak elhelyezkedése

Alapadatok	Alagút			
	A	B	C	D
A műtárgy eleje-vége km szelvények	167+638-168+969	169+619-170+018	170+653-171+518	171+920-171+338
A műtárgy szerkezeti hossza	1 356	422	888	442
A műtárgy hossza	1 331	399	865	418
Az alagutak járatszáma	2			
Forgalmi sávok száma járatonként	2			

völgyhíd hosszai is jelentősen csökkentek. Az környezetvédelmi engedélyt kapott megoldást tájvédelmi, a mezőgazdasági kultúrák megőrzését célzó, és beruházási költségtakarékossági megfontolások egyaránt indokolták. A környezetvédelmi engedély alapján finomított és építési engedélyt kapott terv szerint a szóban forgó szakaszon négy alagút létesül (4. ábra és 1. táblázat).

3. Geológia, geotechnika

3.1 A földrajzi kistérség morfológiája

Az M6 Szekszárd és Bóly közötti ÉK-DNY-i irányban vezető szakasza Bátaszék térségében a Tolna megyei Sárközből a Geresdi-, Délbaranyai-dombság földrajzi kistáj területére ér. A térszín 148-247 m Bf magassági zónában négy patak völgyet és négy völgyközi dombhátat foglal magába. A térségben a szekszárdi borvidék értékes szőlőterületei és nagy gyümölcscsütvények találhatóak.

3.2. Az autópálya szakasz földtani sajátosságai

Az vonalszakasz dombhátaikat harántoló részein, fiatal felső pleisztocén korú, laza településű, alacsony víztartalmú, átmeneti és finomszemcsés üledékes-közet-rétegek, (talajmechanikai értelemben iszapok, homoklisztes iszapok, iszapos finom homokok és lokálisan finom homokok) a felszíntől számítva jellemzően 3-5 m vastagságban fordulnak elő. Ezt követően a felszín alatt 14-18 m-ig a fiatal lösz sorozat, alárendelten sovány közepes agyagok találhatóak. A rétegsorra általánosan a közepesen tömör állapot,

az ilyen kőzetekre jellemző átlagos nyírószilárdsági és alakváltozási tulajdonságok a jellemzők. Az ezek alatt 18-36 m között fekvő rétegekre az iszapos homokliszt, illetve homokos iszap-rétegekkel tarkított idős lösz sorozat, majd a sovány és közepes agyagok a jellemzőek, melyekben mészkonkréciók, meszes, törmelék zónák is előfordulnak. A mélységnek megfelelően az agyag rétegsor tömörödik, sodorható, kemény állapotú, javuló nyírószilárdságú. A rétegsorban jelentkező vörös színű paleoagyagok duzzadó tulajdonságúak. A pleisztocén-pliocén határt képező vörös kővér agyag 36-44 m között mutatkozott. Ez az üledék nagy kötöttségű, jó nyírószilárdságú, közel víz-záró, de szintén erősen térfogatváltozó tulajdonságú. Ez alatt már a felsőpannoniai meszes agyagrétegek következnek.

Az alagutak, kivéve az A jelűt, ezt a rétegsort nem érik el. Az A jelű alagút középső két-negyed részén az alagút ellenboltja, illetve az alagút magrészai is a felsőpannoniai rétegben helyezkedik el.

Áteresztőképesség szempontjából a rétegsor átmeneti talajai rossz vízvezetőnek, a kötött rétegek közel vízzárónak tekinthetők. A rétegek között szemcsés vízadók nem fordultak elő, de azért a pleisztocén rétegsor alsó zónájától gyenge vízhozamú rétegvizes adottságok várhatók.

4. Az alagutak tervezési osztályba sorolását megalapozó forgalmi vizsgálat és a tervezési osztályba sorolás

Az alagútjáratok forgalmi tervezéséhez a sávonkénti forgalom nagyságot jármű/nap (J/nap) mértékegységben kifejezve kell a hatályos tervezési előírás szerint számításba venni. Az alagutak tervezési osztályba sorolásához a forgalom fejlődésének nagytávlatú (2030) ismerete szükséges azért, hogy az alagutak nagytávlatú tervezési osztályát is meg tudjuk becsülni, hiszen az alagút nem olyan műtárgy, aminek szélesítése, vagy alapvető szerkezeti és felszerelési bővítése könnyen megoldható lenne.

Az M6 szóban forgó szakaszára készített forgalmi vizsgálatok igazolták, hogy a sávonkénti forgalom nagyságát a vizsgált szakasz tervezett megnyitásának évében (2008) 2000 J/nap/sáv körül lesz és 2030-ban is minden bizonnyal 4500 J/nap/sáv érték alatt marad.

A forgalmi vizsgálat alapján a forgalomba helyezéskor két-két járat, járatonként két egyirányú forgalmat lebonyolító forgalmi sávval üzembe lépő négy alagutat a 2. táblázat szerint soroltuk be a tervezési osztályokba. Látható, hogy még 2030-ra sem kerül egyik alagút sem olyan forgalmi terhelés alá, ami miatt az I. tervezési osztály felszereltségének későbbi kiépítési lehetőségeit már a forgalomba helyezés évre 2. táblázat: Az alagutak tervezési osztályba sorolása

Év	Forgalmi osztálykód [J/nap/f. sáv]	Alagút			
		A	B	C	D
		1 331 m	399 m	865 m	418 m
Tervezési osztály					
2007	500-2000	III.	V.	IV.	V.
2015	2000-4500	II.		III.	
2018	2000-4500	II.		III.	
2022	2000-4500	II.		III.	
2030	2000-4500	II.		III.	

3. táblázat: Az alagutak tervezési paramétereit

Paraméter	Alagút			
	A	B	C	D
vízszintes helyzet szelvény szerint	167+638-168+969	169+619-170+018	170+658-171+518	171+920-172+338
hossz [m]	1 331	399	865	418
tervezési sebesség [km/h]	100	120	120	120
engedélyezett sebesség [km/h]	90	90	90	90
ívviszonyok	R=2000 m, balív	R=3500 m, jobbív	egyenes	egyenes
járatszám	2	2	2	2
leállóöblök száma járatonként	1	-	-	-
vészátjárók száma	3	-	2	-
a forgalmi sávok száma járatonként [db]	2	2	2	2
a forgalmi sáv szélessége [m]	3,5	3,5	3,5	3,5
az oldalsó zárósv szélessége [m]	0,5	0,5	0,5	0,5
az útpálya szélessége [m]	8,0	8,0	8,0	8,0
az útpálya oldalesése [%]	3,0	2,5	2,5	2,5
a forgalmi úrszelvény túlnyúlása a kiemelt szegély felett [m]	0,25	0,25	0,25	0,25
kezelőjárdák szélessége a járószinten [m]	0,5	0,5	0,5	0,5
szegélymagasság [m]	0,24	0,24	0,24	0,24
a járda úrszelvény szélessége 0,75-1,75 m-ig [m]	0,75	0,75	0,75	0,75
a kezelőjárda úrszelvényének magassága [m]	2,5	2,5	2,5	2,5
az átbocsátható legnagyobb járműmagasság [m]	4,5	4,5	4,5	4,5
a forgalmi úrszelvény magassága [m]	5,0	5,0	5,0	5,0

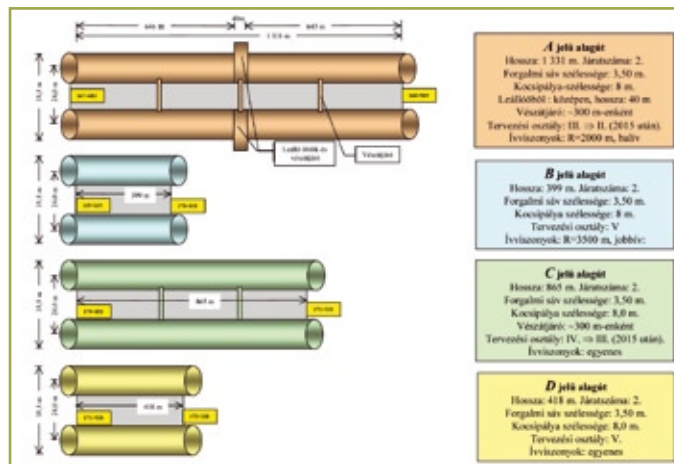
meg kellene teremteni. Az alagutak tervezési osztály szerinti jóváhagyott paramétereit a 3. táblázat foglalja össze.

5. Az alagutak elhelyezkedése, jellemző méreteik

Az alagutak elvi kialakítását és hossz-méreteit az 5. ábra, mindkét járatot feltüntető általános mintakeresztelvényüket az A jelű alagút példáján a 6. ábra tünteti fel.

6. A javasolt építési módszer

A szóban forgó vonalszakasz építésföldtani adottságainak ismeretében az alagutak megépítését zárt, avagy bányászati módszerrel terveztük meg mindazonokon a szakaszokon, ahol ezt a közettakarás lehetővé teszi. Ahol ez a feltétel nem teljesül, ott nyitott módszer alkalmazását terveztük, a zárt módszerrel épülő szakasz keresztmetszeti elrendezését lényegében megtartva. A zárt, vagy bányászati mód-



5. ábra: Az M6 Bátaszék-Véménd szakaszára tervezett alagutak sémái

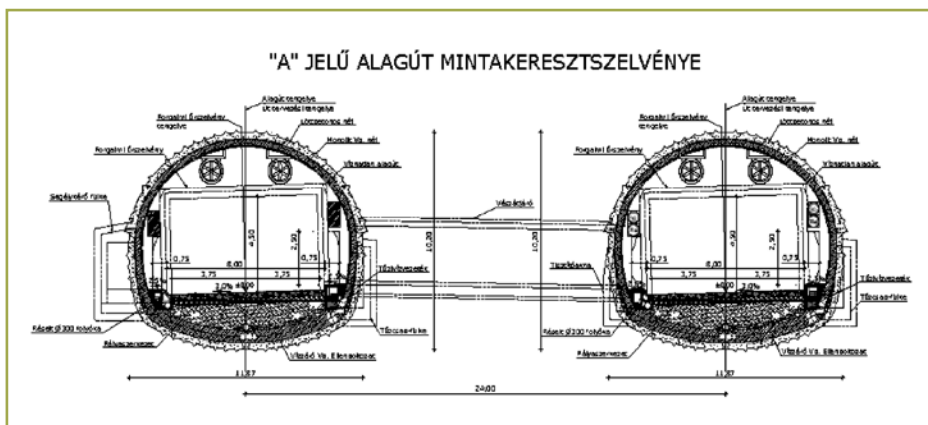
szerű építéshez az új osztrák alagútépítési módszert (NÖT, más elnevezéssel lövelltbetonos eljárás), javasoltuk, amely a legkülönbözőbb kőzetek (köztük laza, üledékes kőzetek, talajok) között is bizonyította alkalmazhatóságát. Az alagútjárat állékonyságát veszélyeztető mértékű deformációk kialakulásának lehetőségét a gyors gyűrűzárást eredményező fejtési és ideiglenes biztosítási szakaszolás alkalmazásával javasoltuk megakadályozni. A nyitott szakaszok befogadására az előbevigasztások szolgálnak. Ezek hossza az alagútjárat elején és végén az alagútjárat szerkezeti kezdetétől illetve végétől mérve addig tart, amíg az alagútszerkezet felett már a zárt módszer biztonságos alkalmazásához mérten elegendő vastagságú fedőréteg van.

7. Szerkezeti méretezés és a szerkezetek építési mód szerinti kialakítás

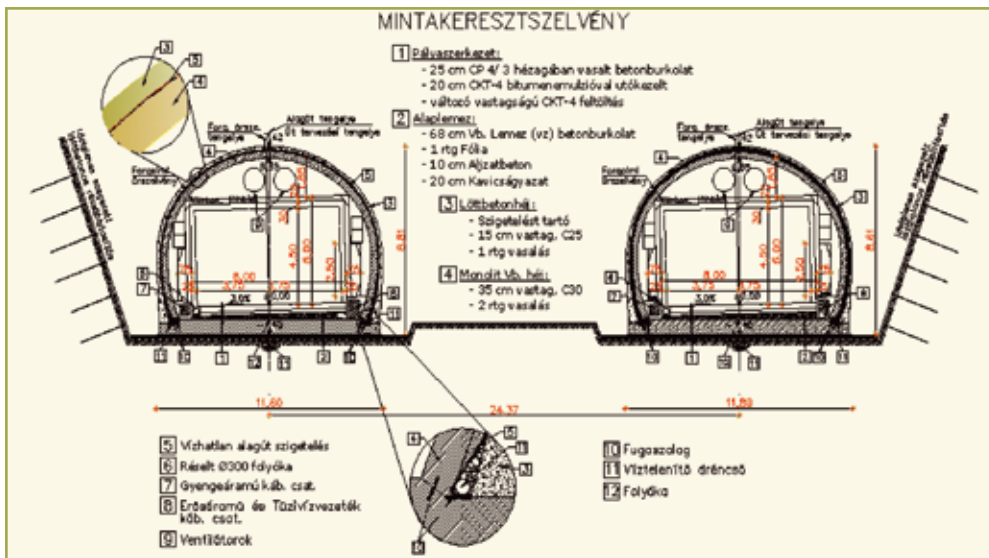
A nyitott módszerrel építeni tervezett járat-hosszokon a szerkezetek rugalmasan ágyazott sík alaplemezt és vasbeton boltozatának falazatát az AXIS VM-7 végelelemes számítási programmal méreteztük. A zárt építési módú alagút-keresztmetszetek modellezéséhez, igénybevételeinek és deformációinak számításához a „Sofistic-FIDES” végelelemes számítási programcsomagot használtuk. A független szakértővel is ellenőrzött számítások alapján, a 7. és 8. ábrákon látható jellemző szerkezeti méretek adódtak.

7.1.A nyitott építési módú szakaszok szerkezete

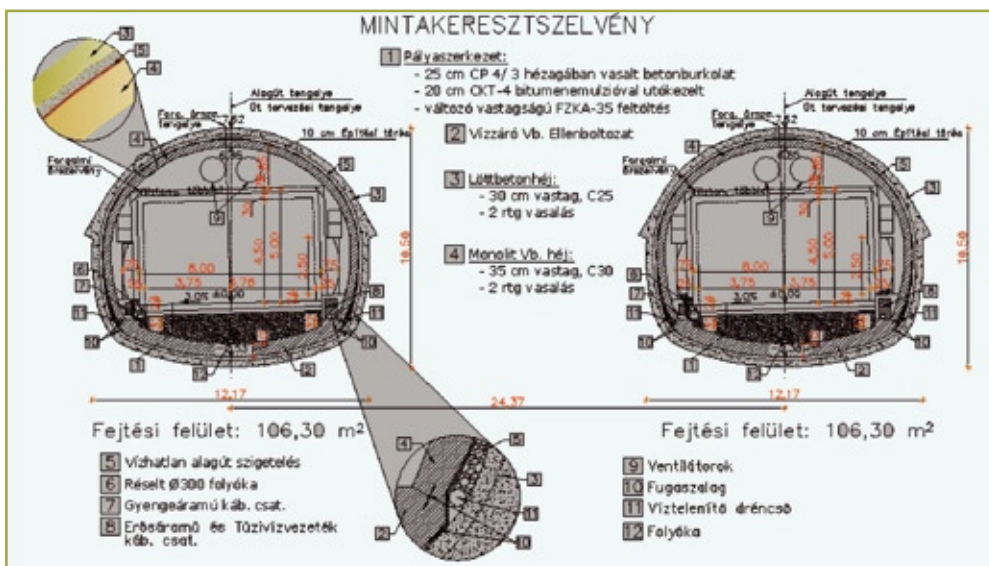
A bevágás tömörített földmunkatükrére épített 15 cm vastag kavicságyazatra aljzatbeton, majd egy réteg technológiai fóliaterítés kerül. Erre épül az alagútjárat 68 cm vastag, C 30 minőségű vízzáró betomból készülő vasbeton alaplemeze.



6. ábra: Az A jelű alagút általános mintakeresztelvénye



7. ábra: Nyitott építési mód általános mintakeresztmetszelvénye



8. ábra: Az A jelű alagút zárt építési módú szakaszának általános mintakeresztmetszelvénye

Az alaplemezhez nyomatékíróan csatlakozik az alagútjárát 35 cm vastag, C30-as minőségű, tűz-, fagy- és sóálló vasbeton boltozata. Az íves vasbeton falazatot víznyomás elleni szigetelő fólia burkolja. A vízáró alaplemez és a szigetelő fólia vízáró kapcsolatát az alaplemezbe annak betonozásakor beépített és a fóliához folytatódóan csatlakoztatott fugaszalag biztosítja. A falazat szigetelése felett geotextilre rögzített szivárgólemez vezeti le a felülről szivárgó vizeket az alaplemezre elhelyezett dréncsövekbe. Az alagútfalazat külső záró rétege 15 cm vastagságú C12 minőségű lövellt beton szigetelést védő héj.

7.2. A zárt építési módú szakaszok tervezett szerkezete

A folyó alagútjárát ideiglenes biztosításul két rétegben elkészített 20-35 cm vastagságú, betonacélból készült háromvívű rácsos tartóívekkel és kettős betonacélháló vasalással erősített, C25 minőségű lövellt beton falazat szolgál. Erre a héjra kell felerősíteni az átszivárgó vizek elvezetését szolgáló geotextíliára erősített szivárgólemezt, majd a talajvíznyomás ellen szigetelő műanyag fóliát. Az alagút végleges tartószerkezete a szigetelésen belül elkészül, C30-as minőségű, tűz-, só- és fagyálló 35 cm vastag vasbeton falazat. A szigetelt falazat átmenő vasalással nyomatékíróan csatlakozik a 60 cm vastagságú,

ugyancsak C30-as minőségű vízáró vasbeton ellenboltozathoz. A szigetelt vasbetonhéj és a vízáró vasbeton-ellenboltozat vízáró csatlakozását megfelelő teherbírási fugaszalag biztosítja.

7.3. Alagútjárát kapuzatok

Az alagútjárát kapuzataiban a vasbeton belső szerkezetet szigetelő és védő rétegeivel együtt a kapcsolódó rézsűfelületekkel egyező 1:2 dőléssel kialakított vasbeton bütös felülettel terveztük kialakítani. A tájba illesztés szempontjait követő homlokrézsű felületeket füvesítéssel, megfelelő növényzet telepítésével, a természetes környezet eredeti állapotához hasonlóvá téve javoltuk kialakítani. A kapuzatokat burkolt övárkok veszik körül, amelyek az autópályaszakasz csatlakozó bevágási szakaszai felszíni vízvezetési rendszeréhez csatlakoznak.

7.4. Az alagutak útpályaszerkezetei

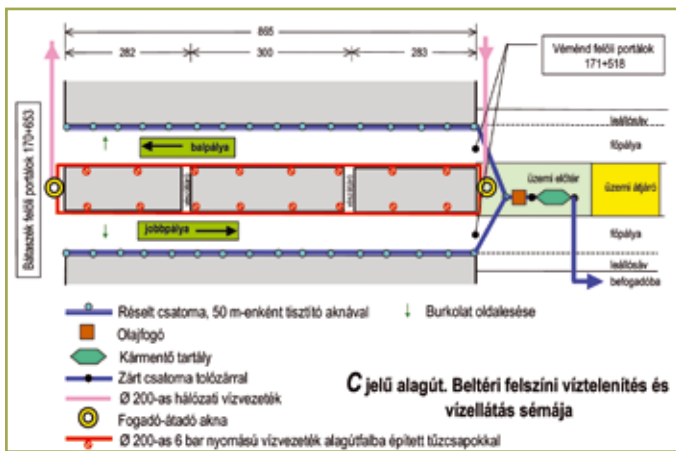
Az alagutakban a tűzbiztonság és a tűzállóság követelményei miatt hézagaiban vasalt betonburkolatú merev útpályaszerkezetet terveztünk. Ezek az autópályává fejleszthető autópályák nagymerev pályaszerkezetéhez dilatációval csatlakoznak. Az alagutak üzemi előtereire aszfaltburkolatú parkoló felületeket kapnak

7.5. Az alagutak beltéri felszíni víztelenítése

Az alagútjáratok pályafelületére jutó vizek vagy folyadékok elnyelésére és elvezetésére az útpálya mélyvonalában, a kiemelt szegély mentén vezetett, oldalbeömlős, réselt, szifonos, tűzbiztos csatorna szolgál. Ennek kerekén 50 m-enként olyan tisztítóaknáik vannak, amelyek kizárólag a tisztítóeszközök bevezetésére valók és nincsenek a folyásfenék alá nyúló részei abból a megfontolásból, hogy ebben a csatornában nem lehet pangó folyadék. A szegélycsatorna az alagútjárát kijáratában olajfogó, műtárgyon keresztül kapcsolódik az autópályát víztelenítő rendszeréhez.

Az alagútjáratokban bekövetkezhetnek olyan balesetek, amik következményeként folyékony vegyi anyagok, vagy tűzoltó vegyszerekkel erősen telített tűzoltóvíz jutnak a burkolatra és onnan a szegélycsatornába. Az alagutak mosással történő tisztítása során keletkező szennyvíz tartalmazhat veszélyes anyagokat. Az ilyen folyadékok és szennyvizek elfogásra szolgálnak az alagutak műszaki előterében elhelye-

zett kármentő műtárgyak. Ezekből a veszélyes folyadékokat tartálykocsikkal a megsemmisítés helyére lehet szállítani. A kármentő és olajfogó csoport az alagút folyásirány szerinti kapuzata előtt kialakított üzemi előtérben van elhelyezve, ahol azt az üzemeltető járművek a forgalom zavarása nélkül megközelíthetik (9. ábra).



9. ábra: Az alagutak beltéri felszíni vízelvezetési rendszere és vízellátása

8. Az alagutakon kívüli építmények

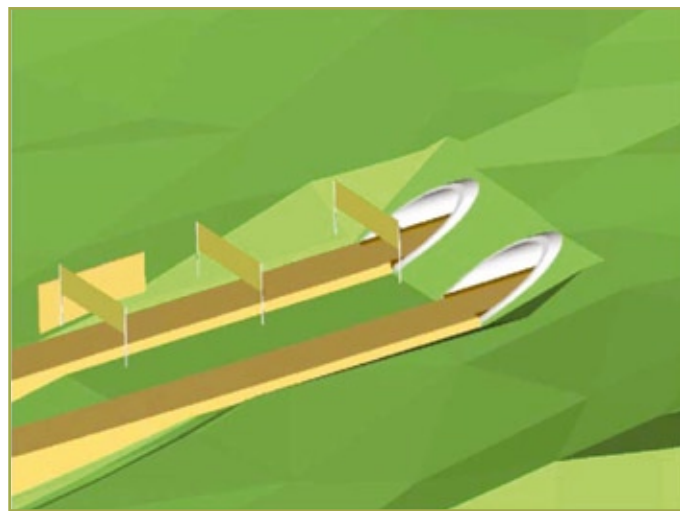
Ezek az energia központok és az árnyékoló előépítmények (4 táblázat). Ez utóbbiak az alagútból kilépő járművek vezetőinek elvakítását akadályozzák meg, amely jelenség bizonyos évszakokban a Nap bizonyos állásainál következhet be tiszta égbolt esetén. Ezeket az időszakokat a terv meghatározta és javaslatot tett a kiépítendő árnyékoló szerkezetekre (10. ábra) azzal, hogy azok végleges méretezésére és elhelyezésére az alagutak üzembe helyezése után elvégzendő mérések után kerüljön sor.

9. Az alagutak felszereltsége és üzemi berendezései

A tervezési osztályba sorolás alapján az alagutak biztonságos üzeméhez tartozó felszereltségének listáját az 5. táblázatban foglaltuk össze.

4. táblázat Alagúton kívüli építmények

Berendezés	Alagút							
	A		B		C		D	
	eleje	vége	eleje	vége	eleje	vége	eleje	vége
Támfalak	nincsenek							
Alagútjáratok kapuzatai között elhelyezett energiaközpontok az 1. és 2. oldali energia betáplálásához	igen	igen				igen		
Vízvezetés műtárgyai (olaj- és iszapfogó és kármentő) az alagutak műszaki előtérben	igen			igen		igen	igen	
Vízvezeték fogadó aknái		igen		igen		igen		igen
Vízvezeték átadó aknái			igen		igen		igen	
Külséri tűzcsapok kapuzatonként az alagutak műszaki előtérben	igen	igen	igen	igen	igen	igen	igen	igen
Árnyékoló előépítmény	igen				igen	igen		igen



10. ábra: Az árnyékoló előépítmény jellegvázlata

9.1. Az alagutak forgalmi üzemmódjai, forgalomtechnikai berendezései

Mint előzőekben már láttuk, a bátságai és a vémei közötti 10,4 km hosszú autópályaszakaszon az alagutak három olyan völgyhíd társaságában helyezkednek el, amelyeken nincs leállósáv. E körülményre tekintettel a Megrendelő (Nemzeti Autópálya Zrt) – a jövőendő Közútkezelővel (Állami Autópályakezelő Zrt) egyetértésben – a szóban forgó szakaszt egy forgalomtechnikai egységnek tekintette, és ezen a megengedett sebességet 90 km/óránban határozta meg. Ebben a rendszerben az alagutak és völgyhidak forgalmi üzemmódjai a következők:

- Rendeltetésszerű üzem. Ebben az esetben az alagút mindkét járata forgalomképes és azokban a menetirány szerint egy irányba, két forgalmi sávon, az engedélyezett sebességgel bonyolódik le a forgalom.
- Üzemeltetési okok miatti rendkívüli üzemből az alagút forgalmi üzeme járatonként, vagy forgalmi sávonként akkor korlátozott módú, ha járatainak bármelyikét, de egy időben csak az egyiket, vagy annak egy forgalmi sávját, esetleg mindkét járat egy-egy forgalmi sávját az alagútjárat bármely beépített üzemeltetési rendszerének a forgalom biztonságos lebonyolítását befolyásoló hibája, avagy személyi sérüléssel nem járó közúti baleset, vagy karbantartási munkák miatt átmenetileg el kell zárni.
- Súlyos közúti baleset miatti rendkívüli üzem elrendelésére akkor kerül sor, ha bármelyik alagútjáratban személyi sérüléssel járó, nem tömeges és nem fatális baleset következett be, amely következményeinek felszámolásához elegendő az autópálya rendőrség, a mentők, esetleg a tűzoltók, és az illetékes üzemeltetési egység együttműködése. Ilyenkor csak az érintett alagútjáratot kell a forgalomból átmenetileg kizárni és az intakt másik alagútjárat, szembeforgalmi üzemmódra átállítva bonyolítja le a forgalmat addig, amíg az érintett alagútjárat ismét forgalomba helyezhető, visszaállítva ezzel a rendeltetésszerű üzemmódot.

Szükségállapotú üzemet akkor rendel el a forgalomirányításért felelős ügyeletes szolgálatvezető, ha bármelyik

- Szükségállapotú üzemet akkor rendel el a forgalomirányításért felelős ügyeletes szolgálatvezető, ha bármelyik

5. táblázat Az alagutak felszereltsége

Szolgáltatás	Berendezés	Alagút			
		A	B	C	D
Világítás	Állandó világítás	igen			
	Vészvilágítás				
	Energiaellátás				
Kommunikáció	Segélykérő telefon	igen			
	Rádiószolgáltatás				
Forgalomirányítás	Zárt láncú televízió (CCTV)	igen			
	Változtatható képű jelzések				
	Alagútlezáró berendezés	igen, jelzőlámpás			
	Magassági kapu	az alagútcsoport elején és végén			
	Irányító központ (az alagútcsoport számára közös)	igen			
Eseményérzékelés	Forgalom nagyságát, a járművek sebességét és fajtáját mérő hurokdetektor a burkolatba építve a kapuzatoknál és a folyó alagútban 200-300 m-enként	igen	igen	igen	igen
	Burkolat hőmérsékletmérés a kapuzatoknál	igen	igen	igen	igen
	Tűz/füstérzékelő	igen	nem	igen	nem
Eseménykezelés	Segélykérő fülke, segélykérő telefontal, poroltóval	igen			
	Segélyhívó/vészjelző állomás				
	Szellőztetés	igen	nem	igen	nem
	Tűzcsapok	igen			
Ellenállóképesség	Hőálló szerkezetek és berendezések	igen			
Szerkezeti intézkedések	Menekülő járda	igen			
	Vészátjáró	igen	nem	igen	nem
	Leállóöböl	igen	nem	nem	nem
	Leállósáv	nem			
	Alagútbejárat előtti és alagút kijárat utáni üzemi átjáró	igen			
Tűzoltó szolgálat	Tűzoltó őr	igen, az alagútcsoport 10 km-es körzetében			

alagútjáróban tömeges és/vagy fatális balesetnek minősülő, esetleg tüzesettel járó esemény következik be, amelynek során a sérült járműből/járművekből veszélyes anyagok is az alagútjáró burkolatára kerülnek. Az ilyen események következményeinek korlátozása és felszámolása az autópálya-rendőrségen, a mentőkön és az illetékes üzemtechnikusokon túl a tűzoltóság és/vagy a katasztrófavédelem magasabb egységeinek bevetését is igényli. Ilyenkor az intakt alagútjárót a mentés céljára kell elkülöníteni.

Az üzemmódok tipikus forgalmi rendjét az A jelű alagút példáján a 11. ábrán mutatjuk be. Az üzemmódokhoz kapcsolódóan a változtatható jelzésekű forgalmi jelzőeszközök elhelyezési elveit a 12. és 13. ábrák szemléltetik.

9.2. Az alagutak energiaellátása

Az alagút energia ellátása kétoldali betáplálású. Az első oldal: a területileg illetékes áramszolgáltató társaság 132 kV-os hálózatáról Mohácson az alagutak kiszolgálására leágaztatott saját 20 kV-os vezetékéről az A jelű alagút be- és kijáratánál és a C jelű alagút kijáratánál elhelyezett energiaközpontokban 20 kV/0,4 kV-os saját transzformátorok közbeiktatásával. A második oldalt az A és a B jelű alagutakhoz az A jelű be- és kijáratánál, a C és a D jelű alagutakhoz a C jelű alagút kijáratához elhe-

lyezett energiaközpontokba telepítet, dízelmotor meghajtású generátorok adják, amelyek az első oldali betáplálás kimaradása esetén automatikusan indulnak. A rendszer vázlatát az A és a B jelű alagutak példáján a 14. ábra szemlélteti. Mindkét rendszert kezelő főelosztók, a szünetmentes áramforrások ugyancsak az energiaközpontokban vannak.

9.3. Az alagutak világítása

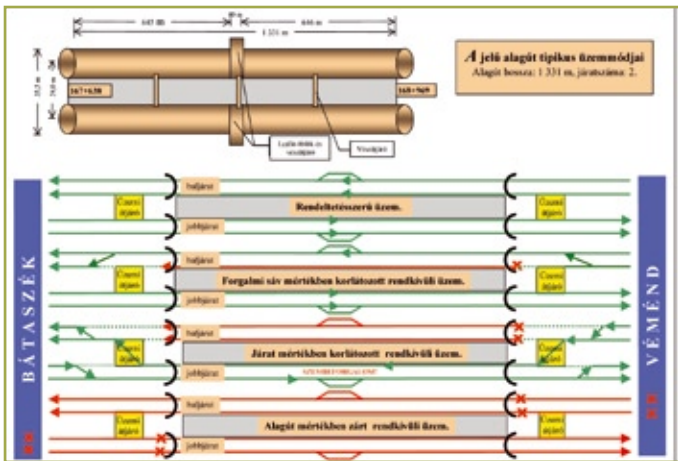
Az alagutak megvilágítása 100 km/h járműsebességre, bejárati-kijárat és általános szakaszra osztva, nappali és éjszakai üzemmódban működik. A megvilágítás sémáját a C jelű alagutak példáján a 15. ábra szemlélteti. Szükségállapotú üzem estén a biztonsági világítást a biztonsági-energiaellátást adó energiaközpontból táplált, a járdák felett 0,5 m-el mindkét oldalon 25 m-es kiosztással elhelyezett lámpák, valamint kijáratmutató világítótestek adják, amelyek az alagútjáró falazatain 12,5 m-es kiosztással vannak a felszerelve.

9.4. Az alagutak szellőztetése

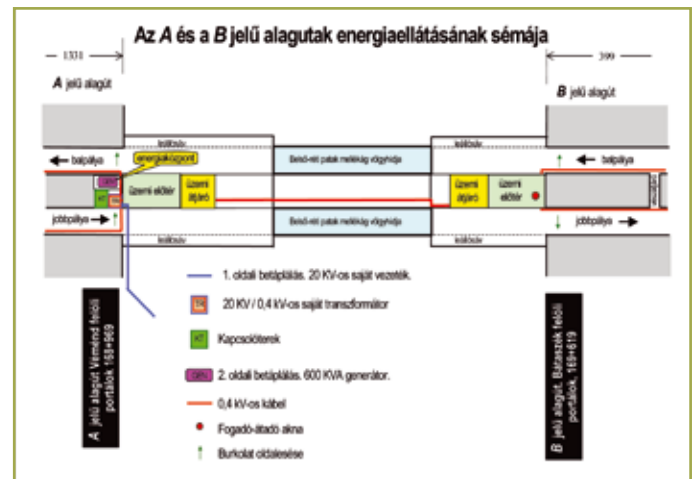
A B és D jelű alagutak hosszuk és tervezési osztályuk miatt nem igényelnek szellőztető gépeket. Az A és C jelű alagutakhoz – azok tervezési osztálya alapján – hosszarámú szellőztetési rendszert terveztünk. A rendszer az alagútjáratok rendeltetésszerű üzemi körülmények során felszabaduló káros anyagok eltávolítására, illetve a tüzet eredményező baleseti eseménykor felszabaduló hő és füstelvezetésre vannak méretezve. A ventilátorok az alagút pályák felett, szimmetrikusan vannak elhelyezve. Azok működtetése – egyenkénti működtetés lehetőségével is – az alagút irányítóközpontjából történik. Rendkívüli, vagy szükségállapotú üzem esetén a ventilátorokat a helyszínem is lehet irányítani. A szellőztetési sémájáról a C jelű alagút példáján a 16. ábra tájékoztat.

9.5. Az alagutak tűzivézellátása

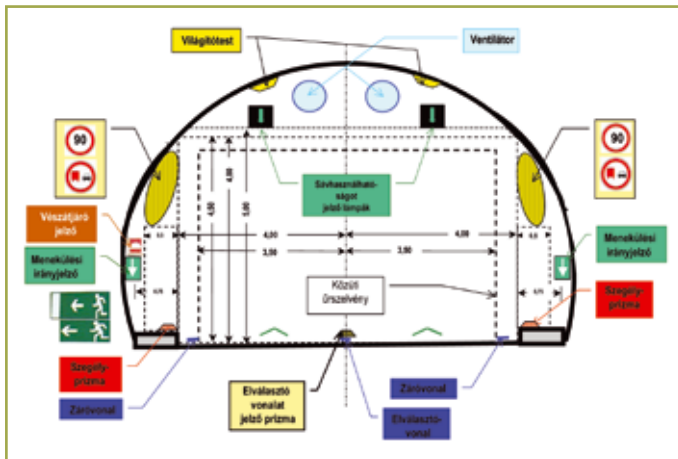
Minden alagúton áthalad a tűzoltóvizet szállító vezeték, amely az aktuális alagutakhoz a közműhálózati vízvezetékéről leágaztatott, a szükséges méretű tűzivíz tározóval és nyomásfokozóval ellátott 200-as vízvezeték egy-egy átadó aknával csatlakozik. A nyomásfokozók bármelyik a tűzcsap megnyitásakor automatikusan indulnak. Leállításuk a vízkivétel megszűntével ugyancsak automatikus. Ez a hálózat szolgáltatja az alagutak tisztításához szükséges vizet is. A vízvezeték elektromos fűtés tartja fagymentes állapotban. A vezetékre az alagutakban 100 m-enként tűzcsapok vannak szerelve, amelyek közül 600 l/perc/tűzcsap teljesítménnyel, 6 bar nyomáson, 2 db egyidejű működését kell lehetővé tenni. Az alagutak üzemi előterein elhelyezett tűzcsapokból a tűzoltóság és az alagutak tisztításához az üzemeltető vételezhet vizet. A vízellátás sémája a C jelű alagút példáján a 10. ábrán látható.



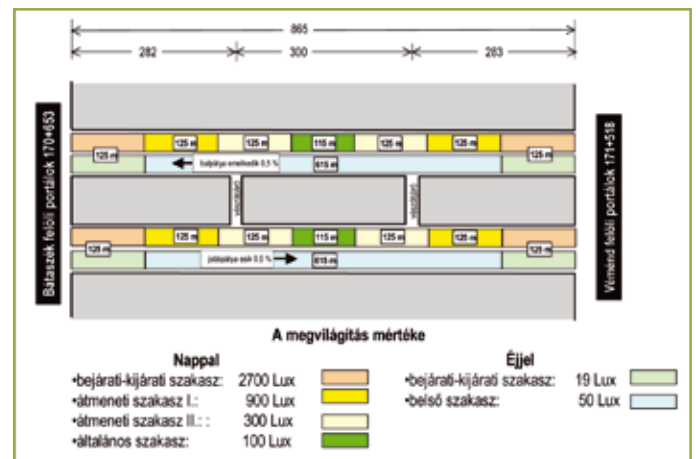
11. ábra: Az alagutak forgalmi üzemmódjai



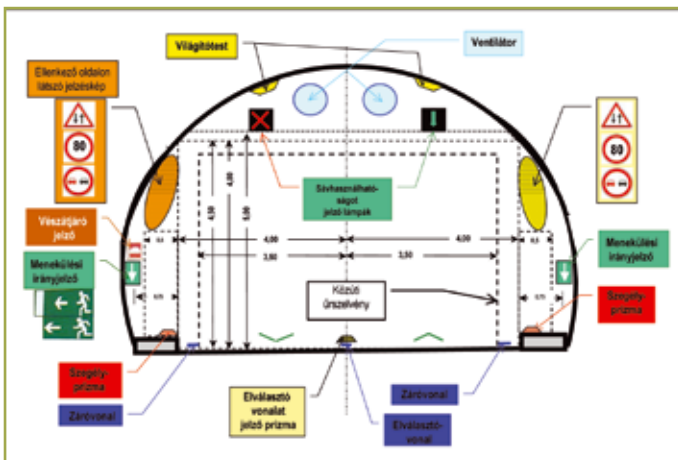
14. ábra: Alagutak energiaellátási sémája



12. ábra: Alagútjárat forgalmi jelzései rendeltetésszerű üzemben



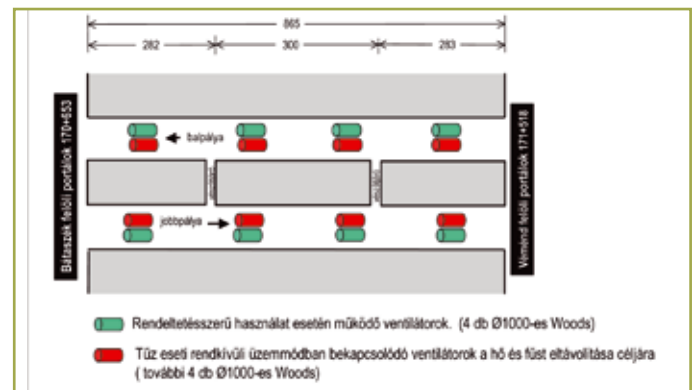
15. ábra: Alagutak megvilágítási sémája



13. ábra: Alagútjárat forgalmi jelzései rendkívüli üzemben

9.6. Az alagutak távközlési létesítményei

Az alagút üzemi hírközlő- és segélyhívó eszközei a 150 m-enként kiépített segélyhívó fülkékben lévő segélykérő telefonok és a segélykérő fülkék között 50 m-enként és az alagútjáratok be- és kijáratainál elhelyezett segélyhívó nyomógombos készülékek. A segélykérő telefonok az irányítóközpont ügyeletesével bárki által kezdeményezett párbeszéd folytatására is alkalmas eszközök. A nyomógombos készülékek csak baleset, tűz, műszaki segítségkérés jelzésére alkalmasak. Ezek a segélykérő és segélyhívó készülékek az autópálya informatikai rendszernek az alagútjáratok gyengeáramú kábelcsatornájában elhelyezett 10 x 50-es alépítményében vezetett megfelelő üvegszál kábelére lesznek kapcsolva. Az üzemi hírközlés és segélyhívás eszközei még: a közútkezelő által használt URH rádiórendsze-

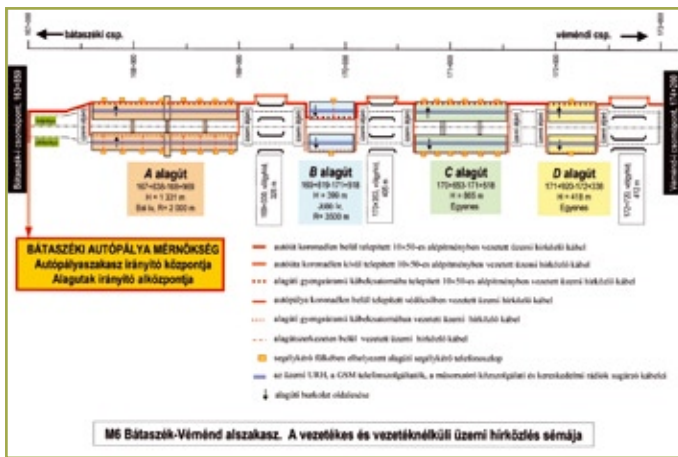


16. ábra: Alagutak hosszirányú szellőztetésének sémája

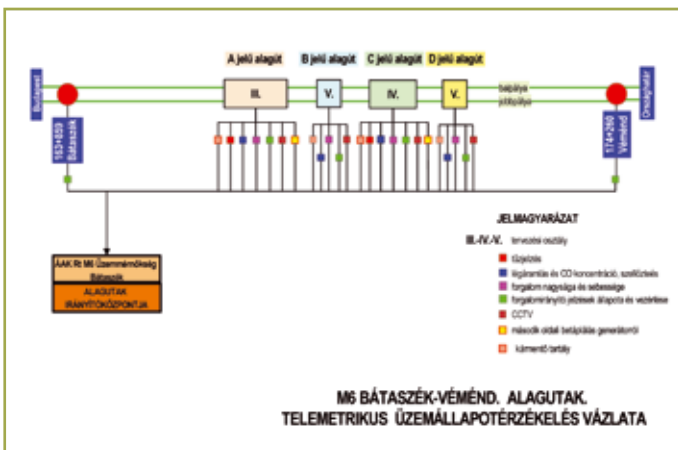
re révén teremthető kétirányú kapcsolat, illetve mobiltelefon szolgáltató révén létrehozható kétirányú kapcsolat. Mindkettő működést az alagútban vezetett megfelelő antennák teszik lehetővé. Az autópálya informatikai rendszerének részét képező alagúti hírközlési rendszer vázlatát a 17. ábra szemlélteti.

9.7. Az alagutak eseményérzékelési és telemetriai rendszerei

Az alagút üzemi állapotát az alagútjáratok útburkolatába, illetve légtérbe a falazatra telepített hőmérők, forgalomszámláló, járműosztályokat meghatározó és sebességmérő detektorok, füstérzékelők, a légáramlás sebességét és irányát, a CO koncentrációt mérő műszerek, valamint a zárt láncú TV kamerái érzékelik. Az ezek által közvetített információk az autópálya informatikai rend-



17. ábra: Alagutak hírközlési rendszereinek sémája



18. ábra: Alagutak eseményérzékelési rendszereinek sémája szerére kapcsoltan jutnak az irányító-központba (18. ábra).

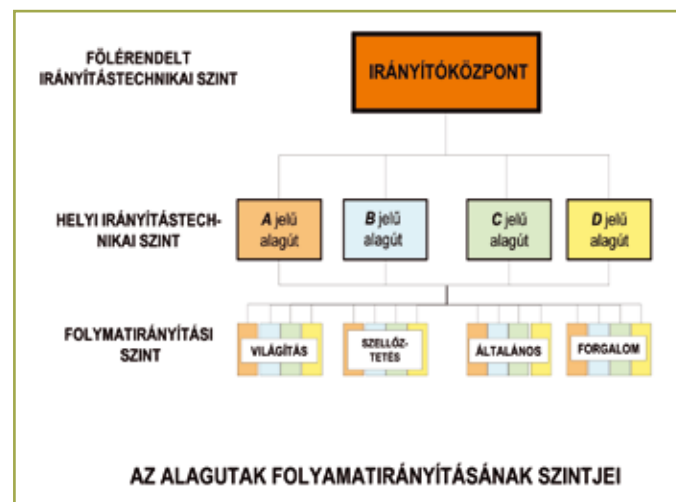
9.8. Az alagutak állapotának ellenőrzési és irányítási rendszere

Az M6 autópályává fejleszthető autót Szekszárd-Bóly szakasza komplex informatikai, kommunikációs és irányítás-technikai rendszere az üzemeltetést támogató, jövőálló megoldásokat kell, hogy alkalmazzon. Ehhez az igényhez illeszkedve – az alagutak engedélyezési tervén kívüli termévekben – elkészítettük a Bátaszék-Vérménd alszakasz komplex informatikai, kommunikációs és irányítás-technikai tervének koncepcióját azzal az igénnyel, hogy az abban rögzített elvek és megoldási javaslatok épüljenek majd be az autópályaszakasz megfelelő tervébe. Az alagutakról szóló javaslata több irányítási szint (19. ábra) integrált működését feltételezi. Ezek:

- Folyamatirányítási szint: az egyes alrendszereket önálló független rendszerként kezeli és azokat az irányítóközpontból vezérli, felügyeli.
- Helyi, alhálózati irányítás-technikai szint: az adott alhálózatot – a területileg hatáskörébe tartozó valamennyi alrendszer elemeivel együtt – tekinti egy egységnek és azt helyi szinten felügyeli, vezérli.
- Főlérendelt, központi felügyeleti irányítás-technikai szint: ez a teljes rendszert vezérli, felügyeli.

A koncepció kialakításakor a fenti feladatok megvalósításán túlmenően figyelembe kellett venni, hogy az alszakasz az alagutak

és a kapcsolódó völgyhidak együttese miatt kiemelten veszélyes üzemnek minősül, tehát az informatikai, kommunikációs és irányítás-technikai rendszernek ezen a szakaszon mindenképpen rendkívüli rendelkezésre állást kell garantálnia.



19. ábra: Az alagutak üzemének irányítási szintjei

10. Összefoglalás

Az M6 autópályává fejleszthető autót Szekszárd-Bóly szakasán, a bátaszéki és vérméni csomópontok közötti mintegy 10 km-en a terepviszonyok, nemkülönben a vonalba eső területek szőlészeti és gyümölcskertészeti kultúrájának védelme egyaránt négy alagút tervezését indokolta, összesen kerekén 3 km hosszúságban. Az alagutak geometriai kialakítását, felszereltségét a vonatkozó magyar tervezési szabályzat előírásai határozták meg. A harántolt terepalakulatok geológiai felépítése (harmad és negyedkori üledékes kőzetek, zömében löszök) olyan, hogy az alagutak szerkezeteit a zárt építésű szakaszokon az új osztrák alagúthajtási módszernek nevezett (NÖT) alagúthajtási eljárás használatának feltételezésével lehetett megtervezni, míg a nyitott szakaszokon a biztosított meredek rézsűkkel kiemelt előbe-vágásokban épülhetnek a zárt építésű szakaszoknak megfelelő forgalmi keresztmetszeti méretű alagútszerkezetek. A tervezési munkára jellemző, hogy ilyen méretű és egységes rendszerben üzemeltetni előírt alagútegyüttes megtervezésére Magyarországon elsőként került sor, amit az ALAGÚTTERV Kft. a gyorsforgalmi útszakasz generáltervezőjének az UNITEF'83 Zrt-nek szaktervezőjeként teljesített. A tervezést irányító ALAGÚTTERV Kft. megbízásából a CONSULTANT Mérnöki Iroda Kft. (alvállalkozói: Enco Mérnöki Iroda Kft., Piroplán Kft. és VA-IQ Kft.), az ORKA Kft. és a Fábíán és Fábíán Kft. működtek közre. Az alagutak tervezésénél felhasznált mérnökgeológiai és geotechnikai szakvéleményeket és adatszolgáltatásokat a GEOPLAN Kft. készítette. A szóban forgó tervezett gyorsforgalmi útszakasz, a négy alagúttal együtt 2006. március 14-én megkapta az építési engedélyt.

EGY FÖLDMŰ-TÖMÖRSÉGI ANOMÁLIA FELTÁRÁSA ÉS MEGOLDÁSA

FAY MIKLÓS¹ – SUBERT ISTVÁN² – KIRÁLY ÁKOS³

1. Előzmények

Az M7 autópálya Zamárdi és Balatonszárszó között a Völgyhíd Konzorcium kivitelezésében épülő, mintegy 15 km hosszúságú szakaszon a vállalkozói laboratórium feladatát a H-TPA Kft Autópálya Laboratóriuma látja el. Az NA Zrt által kiadott 3.2/2004 ÉME előírásait is alaposan meghaladó teherbírasi és tömörségi követelmények komoly feladat elé állították Kivitelezőt és Mérnököt egyaránt. A földmű testre előírt tömörségi követelmény a tender műszaki követelményei szerint $Tr_g > 90\%$ volt. A Mérnöki feladatot a Metróber Kft látta el, míg a kontroll laborként az ÁKMI (később MK Kht) Veszprémi MVO munkatársai segítették a minőség ellenőrzését.

Ezen szakasz mintegy 5 km hosszúságú bevágásaiból 2,5 millió m³ kitermelhető töltésanyagra kellett számítani. Az előzetes geotechnikai szakvéleményt a BME Geotechnika Tanszékének munkatársai készítették el. A bevágások megnyitását követően azokból, melyekből jelentősebb mennyiségű anyagot lehetett kitermelni, további vizsgálatokat végeztünk a H-TPA Kft. Autópálya Laboratóriumában. Ezek a vizsgálatok feltárták a homoklisztes – iszapos homok, lösztalaj változatosságát. Az 1. táblázatban

1. táblázat: Töltésanyag összetételi jellemzői

összetevő	Átlagosan	Minimum	Maximum
Agyag	12	2,4	26,5
Iszap	22	6,3	41
Homokliszt	49	30	72
Homok	17	2	44

szemléltetjük azt a jellemző összetételt, amit tapasztaltunk. A tipikusnak nevezhető három anyagot, melyből ez a változatosság 90%-ban származott, a következőkben jellemezhetjük:

- homoklisztes iszapok:
A: 15-20% I: 25-40% HI: ~30% H: 10-20%
- homoklisztek:
A: 5-10% I: 10-20% HI: 55-70% H: 5-15%
- iszapos homoklisztek:
A: 5-10% I: 20-35% HI: 40-60% H: ~ 15%

Az előzetes geotechnikai vizsgálatok szerint olyan átmene-ti, félig kötött, illetve kötött talajokból kell a töltéseket megépí-teni, melyek az ÚT 2-1.222 hatályos földmunka szabvány szerint jó földműanyagoknak minősülnek, ugyanakkor az előzetes talajme-chanikai szakvélemény is jelezte, hogy várhatóan tömöríthetősé- gi problémákkal is számolni kell.

Az autópálya építések a Völgyhíd Konzorcium - Mérnök e célra készített általános próba-beépítési szabályozása szerint és irányítása mellett - minden bevágási anyagból próbatömörítést tartott. Már ezen próbatömörítések alkalmával is jó néhány össze- hasonlító vizsgálat született a különböző típusú tömörségmérési és teherbírasi mérési módokkal kapcsolatban. Az izotópos és a dinamikus tömörségmérések általában jó összefüggést mutat- tak. Ezen információk a későbbiekben nagyon hasznosnak bizo- nyultak. A 2. táblázat ezen eredményekből kiemelve ismertet a későbbiekben fontosnak bizonyult izotópos (ÚT2-3.103) és dina- mikus tömörség mérési (ÚT2-2.124) eredmény-párokat. Anélkül,

hogya a 2. táblázatba foglalt adatokból túlzottan messzemenő következtetéseket vonnánk le, meg kell említeni, hogy a mérések átlaga jó közelítéssel ugyanazt az átlagos tömörséget mutatta százalékban, de a szórásban meglehetősen nagy különbségek fedezhetők fel, az izotópos mérési eredmények rovására.

2. A tömörségi anomália megjelenése

Az M7 autópálya III. szakaszán az egyik próbatömörítés alkalmával, melyen a már megszokott vizsgálati rendszerben alkalmazott különféle tömörítő munkákat a Kivitelező, szokatlanul alacsony tömörségeket észleltünk izotópos tömörségméréssel, a tömörítési munka fajtájától, illetve mennyiségétől függetlenül. A B&C dinamikus könnyűejtősúlyos műszer használata esetén ugyanakkor a tömörségek nem mutattak a szokásostól jelentősebb eltérést. (lásd 2. táblázat 4-6 sor) A H-TPA vizsgáló laboratóriumán kívül jelen volt a Kontroll labor (ÁKMI Veszprémi Minőségellenőrzési Osztálya) is, illetve a Mélyépítő Laboratórium homokszórásos méréssel és az Andreas Kft dinamikus tömörségméréssel. Mindketten párhuzamos méréseket végeztek és hasonlókat tapasztaltak.

A statikus tárcsás teherbírasi mérési eredményeinek Tt érté- kei 1,3-1,6 közöttinek, azaz kedvezően alacsonynak, az E2 modu- lusok pedig megfelelően magas 40-60 MPa teherbírasi értékeket mutattak. A kétféle módon mért víztartalom az optimálishoz közeli volt. A terített réteg alatti altalaj az előzetes mérések szerint szintén igazoltan, kellően teherbíró volt. A megrakott teherautó keréknyomot nem hagyott, illetve a tárcsás teherbírasi után a tár- csa nyomát szemrevételezéssel vizsgálva is arra a következtetésre jutottunk, hogy a beépített anyag valóban megfelelően tömör- ített és nem tömöríthető tovább. Úgy gondoltuk, hogy ennek a problémának a közelebbi vizsgálata ezért általában is hasznos lehet, mert a jövőben előforduló hasonló problémákat képes megelőzni, vagy kezelni. Ehhez tehát ki kellett deríteni a probléma okát. A hagyományos vizsgálatokon (1. ábra) túl a BME Építőanya- gok Tanszékével vizsgálatokat végeztünk a mélytartalomra is,



1. ábra: helyszíni mérések

¹ NA Rt. osztályvezető

² okl. építőmérnök, okl. gazdasági mérnök,
METROBER Minőségellenőrzési vezető andreas@andreas.hu

³ H-TPA Autópálya Laboratórium vezető főmérnök akos.kiraly@bauholding.hu

2. táblázat: Próba-beépítések tömörségvizsgálati eredményei

Az izotópos tömörségmérés és dinamikus tömörségmérés eredményei			H-TPA labor				Andreas		Kontroll labor (MK-ÁKMI)			
			Izotópos		B&C		B&C		Izotópos		B&C	
No	Réteg	Anyag	Trp%	TrEiz%	Trd %	TrE%	Trd %	TrE%	Trp%	TrEiz%	Trd%	TrE%
1	altalaj	iszapos homok	87,5	97,6	85,0	94,0	98,0	99,0	85,0	85,9	97,0	98,0
2	töltésalap	Homokoskavics THK 0/32	92,3	95,2	88,8	90,8	90,0	92,2	93,0	93,0	91,0	91,0
3	altalaj	iszapos homok	96,2	96,4	97,5	97,5	97,2	97,8	96,0	97,0	96,0	98,7
4	töltés	iszapos homokliszt	75,6	76,9	95,8	97,7	95,2	96,7	79,7	83,3	93,0	97,7
5	töltés	iszapos homokliszt	73,0	74,3	95,1	96,8	96,1	97,2	80,7	82,4	95,0	97,3
6	töltés	Isz. homokliszt+vizezés	75,6	77,0	95,7	98,0						
7	altalaj	iszapos homok	100,4	102,1	96,3	98,2	96,8	98,2				
8	altalaj	iszapos homok	94,5	95,9	95,7	97,2	95,7	97,2				
9	töltés	iszapos homokliszt	94,5	95,3	97,8	99,0	97,2	98,0				
10	védőréteg	hajmáskéri M50	90,5	92,5	91,0	92,7	90,3	92,4				
11	védőréteg	hajmáskéri M50 + tömörítés	92,7	96,9	94,3	98,1	92,5	96,7				
12	védőréteg	hajmáskéri M50	92,0	92,6	96,5	96,9	95,1	95,9				
13	védőréteg	hajmáskéri M50	93,0	102,2	87,0	96,0	93,8	97,4				
14	védőréteg	hajmáskéri M50 újramérés	92,0	92,6	95,5	96,1	96,5	97,1				
15	védőréteg	hajmáskéri M50 + tömörítés	96,2	98,6	94,5	96,9	95,0	97,4				
16	védőréteg	hajmáskéri M50	96,0	96,0	94,0	94,0						
17	védőréteg	hajmáskéri M50 + tömörítés	96,3	96,7	96,2	96,7						
18	Védőréteg	hajmáskéri M50	95,0	96,0	95,0	96,7						
19	védőréteg	hajmáskéri M50 + tömörítés	97,2	99,2	95,7	97,5						
20	védőréteg	Hajmáskéri 0/50+talaj keverék	98,0	102,3	93,0	97,2	93,1	97,2				
21	védőréteg	Hajmáskéri 0/50+talaj keverék	98,5	101,4	95,2	97,7	95,1	97,9				
22	töltéstest	bevágási anyag	91,8	92,7	97,1	98,1						
23	töltéstest	bevágási anyag	92,8	93,4	96,7	97,5	96,0	97,0				
Átlag		91,8	94,1	94,3	96,6	94,9	96,8	86,9	88,3	94,4	96,5	
Szórás		7,4	7,8	3,3	1,9	2,3	1,8	7,3	6,4	2,4	3,1	
Minimum		73,0	74,3	85,0	90,8	90,0	92,2	79,7	82,4	91,0	91,0	
Maximum		100,4	102,3	97,8	99,0	98,0	99,0	96,0	97,0	97,0	98,7	
minta db		23	23	23	23	17	17	5	5	5	5	

mely magas, 35%-os CaCO₃ egyenértéket mutatott ki.

Kérdésként merült fel a viszonyítási sűrűség valamilyen anomáliája is, mert a korábban beépített hasonló talajokhoz képest magasabb értéket mutatott. Tisztázandó kérdésnek felvethető lehet az is, hogy ha a tömörségi fokban ilyen eltérést tapasztalhatunk, akkor melyik viszonyítási sűrűséget tekintjük a valóságos viselkedéshez közelebbinek? Kell-e gondolnunk arra, hogy az MSZ-EN 13286-3-4-5 szerinti, módosított Proctor-vizsgálattól eltérő, más tömöríthetőségi módszereket is kipróbáljuk, illetve ezeket összehasonlítsuk?

3. A probléma elemzése

A szemmel látható megfelelő tömörítés, a kielégítő Tt értékek és a tömörségmérés eredmények ellentmondását látva Mérnök és a H-TPA Kft, a Nemzeti Autópálya Zrt egyetértésével probléma tisztázását, feltárását határozta el tisztázandó, hogy mi is lehet e jelenség oka. Megvizsgáltunk minden olyan részletet, ami hatással lehetett a tapasztalt végeredményre, illetve tisztáztuk azokat a részleteket, amely alapján biztonságosan kizárhattuk, hogy az anomália honnan nem eredeztethető (röviden erre is kitérünk, hogy láthatóvá váljon, milyen sok tényező befolyásolja a mérési eredményeket):

- összemértük a laborok műszereit
- áttekintettük a műszerek kalibráltsági dokumentumait
- növeltük a párhuzamos vizsgálatokban résztvevők számát
- más módszerekkel is mértük a száraz sűrűséget
- a jóvesztésnél is mértük a természetes település tömörségét, víztartalmát
- körbe érdeklődtünk hasonló esetleges problémáról és annak megoldásáról

A lehetőségek számba vételénél, és az esetlegesen rendelkezésre álló, hasonló témájú dokumentáció keresésekor ért bennünket az első meglepetés. A szakmában ismert szakértőket megkeresve azt a választ kaptuk, hogy hasonló probléma eddig mindösszesen néhány alkalommal fordult elő hazánkban. Korábban – szakértői ajánlások után – azt a megoldást választották ilyen esetekben, hogy a Tt értékkel minősítették a tömörséget és az izotópos módszerrel meghatározott anomáliáról nem vettek tudomást. Ezek a problémák igazán nem kerültek a figyelem középpontjába, inkább csak bosszúság volt velük. A jelenség okának kiderítésére sem idő, sem pénz nem volt.

Vizsgálódásaink három fő területet érintettek, amelyek befolyással lehettek a mért értékekre. A *tömörségi fok* meghatározásának módszerei, mint az

- izotópos tömörségmérés
- dinamikus könnyűéjtősúlyos tömörségmérés
- kiszúróhengeres sűrűségmérés
- homokszórásos sűrűségmérés

A víztartalom helyszíni mérésének ellenőrzése:

- izotópos szondával mért víztartalom
- Trident T-90 (USA) mikrohullámú mérőeszközzel mért víztartalom
- laboratóriumi szárítószekrényes vizsgálat

A vizsgált anyag ellenőrzése:

- új tömöríthetőségi vizsgálatok elérhetősége
- a módosított Proctor-vizsgálat ismételhetősége, reprezentativitása
- az anyagtulajdonságok esetleges megváltozása a Proctor-vizsgálat során

4. A vizsgálati módszerek ellenőrzése, összevetése

Megvizsgáltuk, hogy az izotópos műszerek mérései egymással összevethetőek-e. Ennek eredményeként két gyártótól három műszert vetettünk be, hogy kizárjuk a műszerek meghibásodásának lehetőségét. Ez sikerrel járt, a műszerek, bár jelentős szórással, de mind Trd%:~80% körüli mérési eredményeket adtak, amikor ugyanazt a viszonyítási sűrűséget alkalmaztuk. A műszereket a mérések során egymástól gondosan megválasztott távolságban helyeztük el, hogy kiküszöböljük azok egymásra gyakorolt sugárzó hatását és az ebből eredő esetleges mérési hibát.

A dinamikus könnyűéjtősúlyos méréseket is több műszerral ellenőriztük, mind a H-TPA, mind a Magyar Közút Kht, mind az AndreaS Kft. mérései egymással igen szoros egyezőséget mutatnak. Az értékek következetesen Trd% ~94% körüli tömörségi fokokat jeleztek, alacsony szórás mellett.

Kiszúróhengerrel, mind a jövesztés helyén, mind a próbatömörítés helyén végzett vizsgálatoknál a más módszerrel meghatározott sűrűségekhez közelálló értékek adódnak. Ezek vezettek többek közt a viszonyítási sűrűség esetleges hibájának, ezen belül pedig a Proctor-vizsgálat közelebbi és gondosabb elemzéséhez.

Homokszórásos módszerrel is történtek sűrűségvizsgálatok, melyek a kiszúróhengerrel mért értékeket jól alátámasztották.

5. A víztartalom eltérései

A víztartalmakat az ER-TRG01 Mérnöki eljárási utasítás szerint ugyanazon pontokon mértünk először az izotópos műszereinket használva, majd ezen pontokban a Trident T-90-el, végül onnan mintát véve laboratóriumban, szárítószekrényekkel állapítottuk meg a víztartalmat.

A mért értékeket a 3. táblázat foglalja össze. Meg kell jegyezni, hogy nagyobb mérésszámot tekintve a mérések szórása lényegesen kisebb, azonban a tizedszázalék-pontosságú víztartalom közlése a helyszíni mérések során még így sem várható el. A mérési eredmények szórása a laboratóriumi víztartalom meghatározást véve etalonnak, nem ment 1% alá. A természetes víztartalmak az optimálishoz közeli állapotot mutattak.

3. táblázat: Víztartalmak összehasonlítása

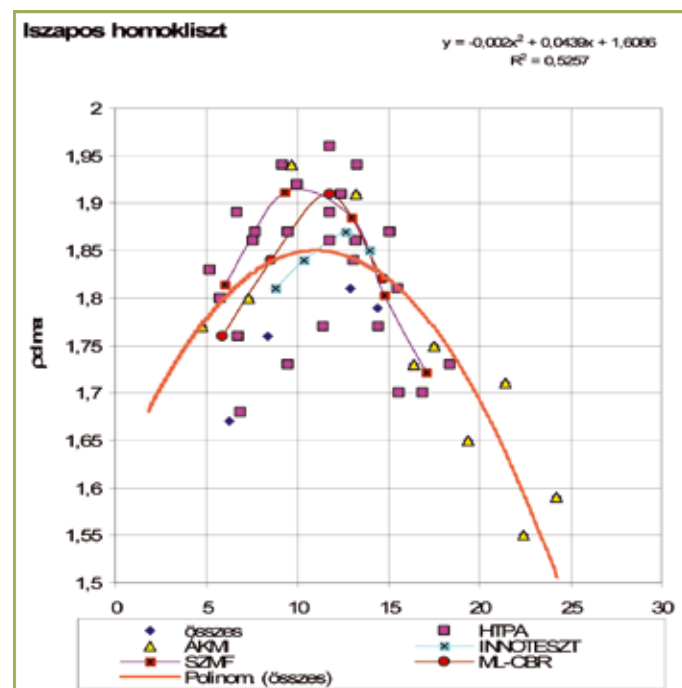
Víztartalmak összehasonlítása			H-TPA				MK Kht. (ÁKMI)				Andreas	
N°	Réteg	Anyag	w _{izotóp}	w _{szárítós.}	w _{trident}	w _{optimális}	pd _{max}	w _{izotóp}	w _{szárítós.}	w _{trident}	w _{szárítós.}	w _{trident}
4	töltés	iszapos homokliszt	9,4	8,2	5,9	10	1,9	7,8	-	10,1	8,5	9,2
5	töltés	iszapos homokliszt	9,6	10,8	8,5	10	1,9	8,4	-	-	8,8	7,7
6	töltés	iszapos homokliszt	9,4	9,3	5,9	10	1,9					

6. A talaj anyagtulajdonságainak, változatlanságának ellenőrzése

MSZ-EN 13286-3-4-5 szerinti, módosított Proctor-vizsgálatlól eltérő, más tömöríthetőségi módszereket nem tudtunk kipróbálni, mivel ezekre még a magyar laboratóriumok nem rendelkeztek fel. Emiatt csak a Proctor-féle vizsgálatot alkalmaztuk a viszonyítási sűrűség meghatározásához. Vizsgálódásunk ezen szakaszában már kizártuk, hogy meghibásodott volna bármelyik műszer, vagy hogy a víztartalom mérések befolyásolták volna oly mértékben a kapott tömörségeket, hogy ez magyarázat legyen a tapasztalt nagymértékű különbségekre. Ugyanakkor többször találkoztunk már a Proctor-vizsgálat egyedi hibájából eredeztethető túl magas, illetve túl alacsony száraz sűrűségi érték (pd_{max}) viszonyítási problémáival, a különböző laborok mérési eredményei között tapasztalt eltérésekkel. Ezek az eltérések a legtöbb esetben visszavezethetők a mintavételi hibákra. Ezért a laboratóriumok vizsgálati eredményeinek szórását a minimálisra csökkenttük azzal, hogy egy mintavételből származó anyagon végezték el a laboratóriumok ezeket a Proctor-vizsgálatokat.

Ismételhetőség és vizsgálati pontosság egy mintavételből

Vége egy érdekes eredményt kaptunk (2. ábra). A mintának több vizsgálatát, más-más laboratóriumok vizsgálatait ábrázolva jó látszik, milyen szórása van a vizsgált lösz-anyagnak, mindamellett, hogy közös mintából származik valamennyi vizsgálat. A H-TPA Kft. elsődleges vizsgálati eredményei 1,92 – 1,97 közötti maximális sűrűségi értékeket adtak, mely szórás még magyarázható lenne a természetes talajok inhomogenitásával, illetve a vizsgálat mérési bizonytalanságával.

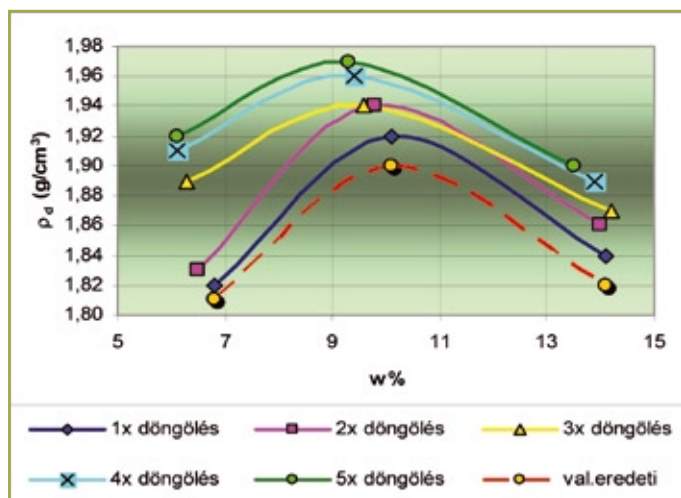


2. ábra: Egy mintavételből származó Proctor-pontok halmaza

Ha azonban teljes vizsgálati terjedelmet vesszük figyelembe, már árnyaltabb képet kapunk. Bármilyen víztartalmat nézünk is, jellemzően 0,2 g/cm³ intervallum jellemző a mért sűrűségek maximuma és minimuma között. Ha a viszonyítási sűrűséget például $\rho_{d_{max}}=1,90$ -re választjuk, akkor ez 0,2/1,9 = 10%-os tömörségi fok ingadozást (!) magyaráz meg egy adott pontban mért sűrűségi értékhez viszonyítva, legyen az bármilyen módszerrel (homokkitöltéses, kiszűrő-hengeres, vízballonos, izotópos) is mérve. E példánál csak a viszonyítási sűrűségről, azaz a proctor vizsgálatból származó mérési hibáról, pontosságról beszélünk. Ha a víztartalom mérési hibáját még el is hanyagoljuk, a sűrűségmérési műszer-hiba ezt tovább növeli. Az ÚT 2-3.103 ÚME 4.5 pontja a sűrűség mérésre legfőljebb 0,070 g/cm³ mérési hibát enged meg. Ha ez a Proctor vizsgálat hibájával összegződik, már 0,27 g/cm³ az összevont mérési bizonytalanság, ami a fenti példában számítva 0,27/1,9=14%-os eltérést okozhat a mért tömörségi fokban.

Ez a hatalmas mérési bizonytalanság indokolja, a dinamikus tömörségmérési módszert kipróbáljuk, alkalmazzuk a probléma elemzéséhez. E módszer ugyanis lényegesen pontosabb, és a sűrűségi inhomogenitás sem, a viszonyítási sűrűség hibája sem befolyásolja végeredményét. Másodfokú lineáris közelítéssel, regresszióanalízissel a Proctor-pontok halmazára a 2. ábrán látható átlag-görbét kaptuk (vastag piros vonallal jelölve). Ez ~1,88 g/cm³ $\rho_{d_{max}}$ értéket mutat. Érdekes, hogy ezzel a viszonyítási sűrűséggel számolva már a korábban még problémásnak vélt mérési eredmények is megfelelőbbek.

Magyarázatot találtunk tehát az első kérdésre, hogy miért különbözhetnek ilyen jelentős mértékben a sűrűségméréssel mért és viszonyítási sűrűséghez hasonlított izotópos tömörsé-



3. ábra: Proctor-minta többszöri tömörítésre bekövetkezett változása

gi tömörségi fokok, a Tt tömörségi tényező által jellemzett tartománytól, illetve a dinamikus tömörségi foktól. A viszonyítási sűrűségeket alkalmazó módszereknél a $\rho_{d_{max}}$ legnagyobb száraz sűrűség minden - valós, vagy véletlen - ingadozásának hatása azonnal és közvetlenül megjelenik a tömörségi fokban. A szórás e szerint nagyobb lehet, mint amit eddig hittünk (a dinamikus tömörségmérésnél az anyag sűrűsége a tömörségi fokot nem befolyásolja).

Proctor-vizsgálat mintára gyakorolt aprózó hatása

A témával kapcsolatos interjúk során Dr. Boromisza Tibor úr utalt doktori disszertációjában tapasztaltakra, melyet az útkárok geotechnikai okainak elemzéséről készített, a lemezes szemalakú muszkovitos homokok reziométeres vizsgálatáról [16]. A lemezes

csillámok, az anyagminta aktív leaprózódásának vizsgálatára ezért ugyanazon a mintán egymás után öt Proctor vizsgálat elvégzését határoztuk el. A vizsgálat eredményét a 3. ábrán mutatjuk be. A tömöríthetőségi vizsgálatot egymás után elvégezve a száraz



Összetétel	K	H	HL	I	A
Előtte átlag	0	17,8	46,7	22,3	13,3
Utána átlag	0	16,2	44,7	22,4	16,7

4. ábra: Proctor-minta többszöri tömörítésre bekövetkezett szemeloszlás változása

sűrűségek és a $\rho_{d_{max}}$ értékek folyamatos és jelentős emelkedését tapasztaltuk. Ezt a kísérletet úgy kell labortechnikailag elképzelni, hogy miután a mintát betömörítettük, majd tömegét megmértük, majd mintegy 30g-ot kivettünk a szemeloszláshoz, kézzel gondosan szétmorzsoltuk és újra, meg újra betömörítettük. Mindezt három különböző víztartalomnál, ötször egymás után végeztük el.

A kapott eredmények közötti növekményt átlagolva, bejelöltük a tömöríthetőségi vizsgálat aprózódás létrejötte nélküli, vélhető eredeti értékeit és alakját. E szerint a tömöríthetőségi vizsgálat – bizonyos szemeloszlási feltételek fennállása esetén - a minta tömörödési viselkedését megváltoztathatja, ezért egyre



5. ábra: Proctor-minta lemezes szemcséjének mikroszkopikus felvétele

magasabb értékek felé tolódik a viszonyítási sűrűség.

A lösz egyes rész-mintáiból kivett mintákon vizsgáltuk továbbá a Proctor-tömörítések közötti szemeloszlást is, meghatározandó az esetleges változást. A hidrometrálással kiegészített szemeloszlások eredményét a 4. ábrán mutatjuk be.

A >0,002mm részből leaprózódott anyag mennyisége 16,7%-13,3% =3,4%-kal nőtt, azaz aránya 25,6%-os növekedést mutat az eredeti szemeloszláshoz képest, azaz itt is a leaprózódást mutatja a vizsgálat eredménye.

A jelenleg vizsgált tömörségi anomália megoldása tehát az, hogy a minta legnagyobb száraz sűrűségének meghatározásakor alkalmazott döngölés olyan szemcseaprózódást okozott, mely megváltoztatta a tömöríthetőséget, ezzel megváltoztatta a viszonyítási sűrűséget is. Ez okolható az „alacsony”, valójában azonban megfelelő tömörségi eredménynél. A pikkelyes-lemez szemcsék töredezését végül a CEMKUT Kft-ben elkészített mikroszkopikus felvételek (5. ábra) is igazolták.

A MSZ-EN 13286-2 módosított Proctor tömöríthetőségi vizsgálati eljárása tehát olyan hatással volt a vizsgálat anyagára, hogy azt viselkedésében is megváltoztatta. Kérdés, hogy az MSZ-EN 13286-3-4-5 szerinti tömörítési módszerekkel hasonló, vagy más eredményt kapnánk-e. Az alternatív viszonyítási sűrűség meghatározásához alkalmazható vibrokalapácsos, vibrosajtólasos, vagy vibroasztalos módszerről, ezek egyszerűsített, vagy a leggyakrabban alkalmazott módosított Proctorhoz való hasonlóságáról semmit sem tudunk. Nem tekinthetünk el tehát ezek összehasonlító vizsgálatoktól a közeljövőben. A viszonyítási sűrűség megállapításának más lehetőségei, az újabb alternatív megoldások léte - ezen esettanulmány tükrében különösen - nem tűnik véletlennek és érdemes tovább tanulmányozni.

7. Az esettanulmány tanulságai

Az M7 autópálya Zamárdi és Balatonszárszó között a Völgyhíd Konzorcium kivitelezésében épülő, mintegy 15 km hosszúságú szakaszán a vállalkozói laboratórium feladatát a H-TPA Kft látta el. Az NA Zrt által kiadott 3.2/2004 ÉME előírásait jóval meghaladó tömörségi tenderkövetelmény komoly feladat elé állította Kivitelezőt és Mérnököt. A földmű testre előírt tömörségi követelmény a tender műszaki követelményei szerint $Tr_g > 90\%$ volt.

A szakaszon 5 km hosszúságú bevágásból 2,5 millió m³ töltésanyagot kellett kitermelni a szükséges töltés megépítéséhez. A próba-beépítéskor tömörségmérési anomáliák léptek fel, melyek elsőre megkérdőjelezték a továbbépítés lehetőségét és felvetették más anyag beszállításának szükségességét. Ennek gazdasági kihatásai komolyan veszélyeztették mind a projekt magvalósulási határidejét, mind annak költségét.

A probléma elemzésére egyetemi és más laboratóriumok bevonásával több laboratóriumi vizsgálatot végeztünk, melyek értékelése után a probléma behatárolható lett. Figyelmünk a tömöríthetőségi vizsgálat, a módosított Proctor-vizsgálattal meghatározott viszonyítási sűrűség felé fordult. Megállapítottuk, hogy bizonyíthatóan leprózódás lépett fel a tömörítő-kalapácsos vizsgálat végzése során, mely ebben az anyagban megváltoztatta a végeredményt, a legnagyobb száraz sűrűséget megemelte. Az így meghatározott tömörségi fok már nem lehetett jellemző az eredeti anyagra. Magyarázatot találtunk tehát egy olyan ritka jelenségre, mely hazai viszonyok között ismételt előfordulhat. Javasoljuk tehát hasonló esetek ilyen vizsgálatát, azaz a viszonyítási sűrűségek azonos mintából megismételt tömöríthetőségi aprózódásának ellenőrzését. E módszer ugyanis alkalmasnak bizonyult arra, hogy a minta ilyen megváltozását, aprózódását kimutathassa.

Meggyőződésünk, hogy minden kivizsgálatlan minőségi probléma rejthet további meglepetéseket. A lehetséges hibák feltárásának elhagyása, vagy a viszonyítási sűrűségek megbízhatóságának túlbecsülése, a dinamikus tömörségmérési módszer önkényes elvetése kimondott gazdasági kockázattal járhat, mely a jelenleg vizsgált esetben szerencsésen megoldódott. A probléma megoldása tanulságos továbbá abban a tekintetben is, hogy az alacsony tömörségi értékek esetén mindig fel kell vetni a viszonyítási sűrűség esetleges hibájának vizsgálatát, és feltéte-

lezni kell az eltérés lehetőségét. A radiometriás tömörségmérési eredményeket is ellenőrizni lehet a tárcsás teherbíráskor tömörségi tényezőjével, vagy dinamikus tömörségmérésnél megismert relatív sűrűség számításával. A jelenlegi probléma azonban mindenképp rávilágított arra, hogy a dinamikus tömörségmérés ilyen összehasonlításoknál, a problémák elemzésénél is igen hasznos lehet. Nincs ma más olyan mérési módszer, melynek segítségével a töltésanyag valós tömörségére a viszonyítási sűrűség alkalmazásától függetlenül, kellően megbízható következtést lehessen tenni.

Irodalom

- [1] MSZ 15320 Földművek tömörségének meghatározása radioizotópos módszerrel
- [2] MSZ EN 13286-2 Kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú keverékek 2. Vizsgálati módszerek a laboratóriumi viszonyítási térfogatsűrűség és víztartalom meghatározására. Proctor-tömörítés.
- [3] MSZ EN 13286-3 Kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú keverékek 3. A laboratóriumi viszonyítási térfogatsűrűség és víztartalom vizsgálati módszerei. Vibrosajtolás szabályozott paraméterekkel.
- [4] MSZ EN 13286-4 Kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú keverékek 4. A laboratóriumi viszonyítási térfogatsűrűség és víztartalom vizsgálati módszerei. Vibrokalapács.
- [5] MSZ EN 13286-5 Kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú keverékek 3. A laboratóriumi viszonyítási térfogatsűrűség és víztartalom vizsgálati módszerei. Vibroasztal.
- [6] ÚT 2-3.103 Radiometriás tömörségmérés. Földművek, kötőanyag nélküli alaprétegek, hidraulikus kötésű útalapok térfogatsűrűségének és víztartalmának meghatározása
- [7] ÚT 2-2.124 Dinamikus tömörség és teherbírás mérés kistárcsás könnyűejtősúlyos berendezéssel
- [8] METRÓBER: ER-TRG01 Ellenőrzési rendszer próbatömörítések végrehajtására és értékelésére az M7 Zamárdi – Balatonszárszó szakaszán. Mérnöki Eljárási Utasítás. p.: 10
- [9] METRÓBER „Dinamikus és izotópos tömörségmérés összehasonlítása próba-tömörítéssel az ER-TRG01 szerint” 2005 M7 Zamárdi – Balatonszárszó autópálya szakasz. p.: 23
- [10] A 3.1/2004 ÉME szerinti földmű tömörségi előírások értékelése és módosítási javaslat Metróber Kft. 2005. 06. 22. p.: 11.
- [11] Subert I.: Dinamikus tömörségmérés aktuális kérdései. A dinamikus tömörség mérés újabb tapasztalatai. Geotechnika Konferencia 2005 Ráckeve. 2005. október 18-20.
- [12] Subert: Method for Measuring Compactness-rate with New Dynamic Light Falling Weight Deflectometer. Geotechnic Conference (V4) 2005
- [13] Subert I.: A dinamikus tömörség- és teherbírásmérés újabb paramétereit és a modulusok átszámíthatósági kérdései. Mélyépítéstudományi Szemle 55. évf. 2005/1 p.: 28-32
- [14] Tömörség- és teherbírásmérés könnyűejtősúlyos berendezéssel. K+F Jelentés MixControl Kft. Témaszám ÁKMI Kht. 3810.5.1/2002 Témafelelős: Subert István
- [15] BME Építőmérnöki Kar Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék Anyagvizsgáló Laboratóriuma: Talajminta karbonáttartalma 2005. 01. 06.
- [16] Boromiszta T.: A talaj rugalmasságának vizsgálata útpályaszerkezeteknél Mélyépítéstudományi Szemle XVIII. Évfolyam 1968. 6. szám p.: 272-278

KISFORGALMÚ UTAK GAZDASÁGOS PÁLYASZERKEZETEI

PETHŐ LÁSZLÓ¹ - SIK CSABA²

1. A téma indokltsága

A magyar települési önkormányzatok által kezelt bel- és külterületi utak jelentős része kiépítetlen, és a jövő lehetőségeit vizsgálva sem látszik alkalom gyors áttörésre, amely a források viszonylagos szűkösségén kívül még szakmai okokra is visszavezethető.

A jelenleg érvényes szabályozás (ÚT 2-1.503:2006, Kisforgalmú utak pályaszerkezetének méretezése) ugyanis olyan pályaszerkezeteket ír elő, amelyek megvalósításának ráfordításai indokolatlanok. Ennek oka, hogy az előírás az országos közutakon használt építési anyagokat jelöli meg az egyes pályaszerkezeti rétegek építőanyagaként, miközben a méretezés során szintén az országos közutakon használt biztonsági tényezőket veszi alapul. Ez olyan anyagi tulajdonságokat és szerkezeti vastagságokat feltételez, melyek teljesítésére egy optimálisan fejlődő gazdaság sem lenne képes.

Ezen méretezési módszerek tudatos alkalmazásával ugyanakkor az alacsonyabb igényszinthez jobban alkalmazkodó egyszerűbb, következképpen gazdaságosabb szerkezetek alakíthatók ki. Másik jelentős ok, hogy a szakma nem kezeli kellő súllyal a másodlagos, illetve a helyben fellelhető nyersanyagokat. A megrendelőként fellépő önkormányzatok és a lakosság is ellenérzéssel kezeli a másodlagos nyersanyagokat, ezért a törtbeton, a pernye, a kohó- és konvertesalakok beépítése már tervezési fázisba sem jut el. A másodlagos és helyi anyagokat felhasználva azonban azonos teljesítményszint tartása mellett fajlagosan alacsonyabb költséggel lehet szilárd burkolatú utat építeni. A kisforgalmú, önkormányzati utak kiépítésére tekintettel az útépitést ez esetben egy, az eddigi gyakorlatoktól eltérő szemlélettel kell kezelni.

2. Az önkormányzati utak adottsága

A bel és külterületi helyi közutakon az 1. táblázat szerint 36,7 százalékos a kiépített/kiépítetlen utak aránya a megyékre vetítve. Az átlag számításából a fővárost szándékosan kihagytuk a vidék és a főváros között feszülő egyenlőtlenség miatt.

Magyarországon a kiépítetlen utak hossza valamivel több, mint 100 000 km. A kisforgalmú helyi közutakon összességben nagy építési munkamennyiség adódik (4000 Ft/m² költségszinttel számolva 1.600 milliárd Forint), mely munka mennyisége becsült számításaink szerint a gyorsforgalmi úthálózat kiépítésének munkamennyiségével nagyságrendileg megegyezik. A forgalom miatt tehát kis jelentőséggel bír, de abszolút részaránya miatt nagy potenciális költséget jelentő kisforgalmú utakat nem szabad „alsórendű” problémaként kezelni.

3. Kis forgalmú utak lehetséges alternatív pályaszerkezetek

3.1 Egy új megközelítés

Az ÚT 2-1.503:2006 szerint kisforgalmú út az, amelynek a tervezési forgalma 30 ezer egységtengely alatt marad.

A pályaszerkezet méretezés egyik fő alapadatának meghatározásához egy egyszerű, mégis életszerű módszert mutatunk be.

A mechanikai méretezés elemeit felhasználva olyan típus pályaszerkezeteket dolgoztunk ki többféle alaprteg fajtára,

melyek a jelenlegi típus pályaszerkezeteknél olcsóbb szerkezetek építését teszik lehetővé, teljesítőképességük azonban az igénybevételeknek megfelel. Megjegyezzük, hogy az országos közutakon építendő típus pályaszerkezetek meghatározása is a mechanikai méretezés felhasználásával történt [Nemesdy: 1992].

3.2. A tervezési forgalom

A jelenleg érvényben lévő ÚME szempontjából a kisforgalmú utak két forgalmi terhelési osztályba sorolhatók (2. táblázat). A tervezési forgalmat vagy a 100 kN egységtengelyek (F100) a tervezési időtartam alatt várható összes száma, vagy a nehéz járművek napi száma alapján lehet felvenni.

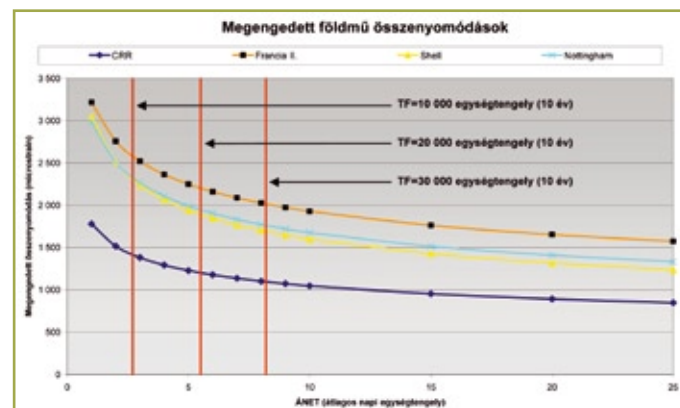
2. táblázat: terhelési osztályok

terhelési osztály	F100	nehéz járművek száma (naponta)
A1	< 20 000	legfeljebb négy autóbusz és nyolc 15 tonna össztömegű tehergépkocsi, két forgalmi sáv szélességű úton (t=10 év)
A2	20 000<F100<30 000	legfeljebb tíz autóbusz és tíz 15 tonna össztömegű tehergépkocsi, két forgalmi sáv szélességű úton (t=10 év)

A tervezési forgalom meghatározása során újfajta megközelítéssel élünk. A tervezési forgalom viszonylag pontos meghatározása az összes pályaszerkezet méretezési módszer fontos kiindulási adata, ezért a mindennapi életnek megfelelő egyszerű, de szakszerű forgalom meghatározási módszert ismertetünk a 3. táblázatban. A módszer ötvözi az ÚME két forgalom meghatározási módszerét: meghagyja a járművek meghatározásának egyszerű módját, és egyúttal lehetőséget biztosít az egységtengelyre való átszámításra. A tervezési forgalmaknál célszerűnek tartjuk továbbra is a három forgalmi kategória megállapítását.

3.3. A megengedett igénybevételek

A földművek és szemcsés rétegek esetében a méretezésnél figyelembe vett igénybevétel függőleges összenyomódás, amelynek értékét talajfajtatól és a szemcsés réteg anyagától függetlenül a terhelésméltési szám (áthaladt egységtengely) függvényében adják meg a különböző előírások, melyeket az 1. ábrán



1. ábra: Megengedett földmű összenyomódások

¹ Okl. építőmérnök, H-TPA Innovációs és Minőségvizsgáló Kft. laszlo.petho@bauholding.hu
² Okl. építőmérnök, H-TPA Innovációs és Minőségvizsgáló Kft. csaba.sik@bauholding.hu

1. táblázat: bel és külterületi helyi közutak kiépítettségi aránya

bel- és külterületi helyi közutak 2002-ben (Forrás: ÁKMI Kht.)								
megye	BELTERÜLET		KÜLTERÜLET			összesen	MIND ÖSSZESEN	kiépített- kiépítetlen utak aránya (%)
	kiépített utak	kiépítetlen utak	összesen	kiépített utak	kiépítetlen utak			
Baranya	1643,4	648,5	2291,9	317,1	5965,6	6282,6	8574,5	29,6
Bács-Kiskun	2024,3	912,4	2936,6	314,3	9259,0	9573,3	12509,9	23,0
Békés	1469,8	1179,3	2649,1	191,9	3572,8	3764,7	6413,8	35,0
Borsod-Abaúj-Zemplén	2995,4	976,5	3972,0	263,6	5653,6	5917,2	9889,2	49,2
Csongrád	1387,6	502,1	1889,7	180,9	4266,1	4447,0	6336,6	32,9
Fejér	1734,6	674,4	2409,0	230,0	2978,6	3208,7	5617,6	53,8
Győr-Moson-Sopron	1550,0	569,9	2119,9	170,6	4309,7	4480,3	6600,2	35,3
Hajdú-Bihar	1562,0	1012,9	2575,0	187,9	4811,5	4999,4	7574,4	30,0
Heves	1475,8	505,8	1981,6	109,5	3169,1	3278,6	5260,2	43,1
Komárom-Esztergom	1157,3	317,1	1474,4	175,7	1454,0	1629,7	3104,1	75,3
Nógrád	930,5	413,7	1344,2	81,4	3316,3	3397,8	4742,0	27,1
Pest	3419,4	3320,0	6739,4	494,2	7069,6	7563,7	14303,1	37,7
Somogy	1650,9	854,0	2504,9	243,3	4990,6	5234,0	7738,9	32,4
Szabolcs-Szatmár-Bereg	2008,9	851,0	2860,0	403,5	4452,7	4856,2	7716,2	45,5
Jász-Nagykun-Szolnok	1593,5	1105,6	2699,1	184,0	3598,4	3782,4	6481,4	37,8
Tolna	1170,1	603,7	1773,8	177,8	3651,0	3828,8	5602,6	31,7
Vas	1017,5	396,4	1413,8	117,4	4012,5	4129,9	5543,8	25,7
Veszprém	1602,1	769,8	2371,9	279,0	2926,4	3205,3	5577,2	50,9
Zala	1329,5	558,7	1888,3	496,1	3271,1	3767,2	5655,4	47,7
MEGYÉK ÖSSZESEN	31722,6	16171,8	47894,4	4618,3	82728,4	87346,7	135241,1	36,7
Budapest	3654,4	653,4	4307,8	28,7	240,5	269,2	4577,0	412,0
ORSZÁG ÖSSZESEN	35377,0	16825,2	52202,1	4647,0	82968,9	87615,9	139818,1	40,1

tüntetünk fel. Az ábrán 10 éves tervezési élettartamra vetítve feltüntetünk a terhelési osztályokat az egységtengelyek függvényében, mely jól érzékelteti, hogy a kis forgalom a valóságban ténylegesen néhány (<10) napi egységtengely áthaladást jelent. A hazai pályaszerkezet méretezés alapjául szolgáló CRR kritérium valamennyi, az 1. ábrán feltüntetett kritériumnál szigorúbb.

A francia pályaszerkezet méretezési gyakorlat a földművek és szemcsés rétegek méretezését a forgalmi terhelés függvényében két csoportra osztja. Szintén az 1. ábrán a kisforgalmú utak esetén alkalmazott kritériumot tüntettük fel, mely nagyobb határ igénybevételeket enged meg, mint a világ országaiban alkalmazott egyéb kritériumok. A kis forgalmú utak esetében a biztonsági tényező csökkentése (a megengedett összenyomódás növelése) nem jár a forgalombiztonság szempontjából kockázatokkal (kátyúsodás, felületi egyenetlenség következtében fellépő balesetveszély). Ezért indokoltnak tartjuk, hogy a kisforgalmú utak méretezése során a francia II. kritériumot alkalmaztuk, mely a következő összefüggéssel írható le:

$$\varepsilon = 0.0016 * \left(\frac{F100}{2} \right)^{-0.222}$$

Ahol F100 a 100 kN-os egységtengely áthaladási számát jelenti a tervezési élettartam alatt.

3.4. A számított igénybevételek; a méretezési modellek

3.4.1. Az igénybevételek számításának módja

Jelenleg az útpályaszerkezetek méretezéséhez az egyik legelterjedtebb és megbízhatóbb módja a számítógépes program, a BISAR alkalmazása. A BISAR (Bitumen Stress Analysis in Roads) nevű programot a Shell-laboratórium (Amszterdam) dolgoztatta ki. A SHELL – BISAR szoftver segítségével elvégeztük a különböző pályaszerkezeti rétegek igénybevételeinek meghatározását.

3.4.2. A földmű és szemcsés rétegek mechanikai jellemzői; megengedett igénybevételei; a méretezési modellek

A méretezés során a földmű statikus teherbírási modulusát (E_2) vesszük figyelembe, mivel ez a méretezéshez és a tényleges kiviteli tervezéshez szükséges és elégséges input adatot szolgáltat.

A szemcsés rétegek modulusa függ az alatta lévő réteg modulusától. Az értékek meghatározására a SHELL képletet alkalmaztuk:

$$E_{\text{szemcsés}} = E_{\text{alsóréteg}} * 0.2 * H^{0.45}$$

ahol

- $E_{\text{szemcsés}}$ a szemcsés réteg rugalmassági modulusa [MPa]
- $E_{\text{alsóréteg}}$ a szemcsés réteg alatti réteg rugalmassági modulusa [MPa]
- H a szemcsés réteg vastagsága [mm]

3. táblázat: várható forgalmi terhelés meghatározása

várható forgalmi terhelés meghatározása					
tevékenység	1	2	3	4	eredmény: egység tengelyek száma
mezőgazdasági gép forgalom	aktivitási idő márc.-nov.; 36 hét; napok száma	porták száma, ahová a mg. gépek bejárnak	napi elhaladások száma	egység tengely szorzószám	= az 1,2,3 és 4 számú cellák szorzata
	252	?	?	0,6	
ipari, kereskedelmi tevékenység	aktivitási idő 52 hét	ipari, kereskedelmi egységek száma	heti szállítások száma	egység tengely szorzószám	= az 1,2,3 és 4 számú cellák szorzata
	52	?	?	0,6	
közúti tüzelőszállítás	aktivitási idő okt.-márc.; heti egyszeri beszállítás; hetek száma	porták száma, ahová közúton érkezik a tüzelő		egység tengely szorzószám	= az 1,2 és 4 számú cellák szorzata
	20	?		0,6	
magasépítési tevékenység (lakóház)	építkezések várható száma az utcában	nehéz tehergépkocsi száma egy építkezésen		egység tengely szorzószám	= az 1,2 és 4 számú cellák szorzata
	1	30		0,6	
szennyvízszippantás	szennyvíztárolók száma az utcában	ürítések száma évente		egység tengely szorzószám	= az 1,2 és 4 számú cellák szorzata
	1	6		0,6	
szemétszállítás	aktivitási idő 52 hét	heti szállítások száma		egység tengely szorzószám	= az 1,2 és 4 számú cellák szorzata
	52	1		0,6	
autóbuszjárat	aktivitási idő 365 nap	járatok száma naponta		egység tengely szorzószám	= az 1,2 és 4 számú cellák szorzata
	365	?		1,3	
forgalmi terhelés (egység tengelyek száma), tervezési idő 10 év					az egység tengelyek összegének és a tervezési időnek a szorzata
forgalmi terhelési kategóriák	F1		F2	F3	
	0-10 000		10 000-20 000	20 000-30 000	

4. táblázat:
megengedett összenyomódások
a különböző forgalmi terhelések esetén

megengedett összenyomódások a különböző forgalmi terhelések esetén (microstrain)		
nehézárművek száma/ nap	forgalmi terhelési osztály	francia II. kritérium
3	F1	-2 523
7	F2	-2 090
10	F3	-1 931

5. táblázat: szemcsés rétegek mechanikai modellje

réteg	úttükr modulus (MPa)	szemcsés réteg (MPa)		
vastagság (mm)	-	200	250	300
modulus (MPa)	20	46	50	55
	25	67	74	81
	30	87	96	104
	40	128	142	154

Az összefüggés nem tesz különbséget az elsődleges és másodlagos nyersanyagok között. A kisforgalmú útpályaszerkezetek biztonsági tényezőit ezért erről az oldalról is csökkenthetőnek tartjuk, így a méretezés során nem vesszük figyelembe a közetfizikai tulajdonságokat. A francia összefüggést felhasználva a megengedett összenyomódásokat az egyes szemcsés rétegek felső síkján a 4. táblázat tartalmazza.

A földmű valamint a szemcsés rétegek Poisson tényezőjét

0,4 értéknek vettük, míg az egyes rétegeket egymáson elcsúszónak feltételeztük. A mechanikai modellt a szemcsés rétegek esetén az 5. táblázat, a modell alapján számított igénybevételeket a 6. táblázat mutatja be. A megengedett és számított igénybevételeket összehasonlítottuk, és ahol a pályaszerkezet nem felelt meg, ott szemcsés javítóréteget vettünk fel a modellbe a bemutatott eljárást alkalmazva, valamint a számításokat alacsony (<20 MPa) úttükr teherbírásra is elvégeztük, mely számításokat itt nem részleteztünk. A 2. ábra a kiindulási paraméterek alapján méretezett és megfelelt pályaszerkezeteket mutatja be.

3.4.3. Méretezési modellek a hidraulikusan kötött pályaszerkezeti rétegek esetén

Az ÚT 2-1.202:2006 Útügyi Műszaki Előírásban található típus pályaszerkezetek méretezésénél is felhasznált bemenő adatokat vesszük figyelembe a hidraulikusan kötött rétegek méretezési kiindulási adatainak meghatározásakor. Így a modulus értékeként $E=2000$ MPa értéket, míg a Poisson tényező értékét 0,25-nek feltételeztünk.

A hidraulikusan kötött rétegek igénybevételeit nem számítjuk. Méretezési gyakorlatunk szerint feltételezzük, hogy a hidraulikusan kötött rétegek többnyire már a tervezett élettartam alatt fáradási hálós repedéseket kapnak, és kisebb táblákká repedeznek. Így félig merev, félig hajlékony alaprétgá válnak, melyet a fent említett viszonylag alacsony modulus értékkel modellezünk. [Nemesdy, 1992]

A hidraulikusan kötött rétegekre alkalmazott pályaszerkezeti modellt a 7. táblázatban, a számított igénybevételeket a 8. táblázatban mutatjuk be.

A 3. ábra a kiindulási paraméterek alapján méretezett és megfelelt pályaszerkezeteket mutatja be, ahol a pályaszerkezet nem felelt meg, ott szemcsés javítóréteget vettünk fel a modell-

forgalmi kategória	úttükör teherbírása (MPa)					
	10	15	20	25	30	40
F1	talajcsere után az új talaj és teherbírás függvényében	20 cm 30 cm	30 cm	25 cm	20 cm	
F2	talajcsere után az új talaj és teherbírás függvényében	talajcsere után az új talaj és teherbírás függvényében	20 cm	30 cm	25 cm	20 cm
F3	talajcsere után az új talaj és teherbírás függvényében	talajcsere után az új talaj és teherbírás függvényében	20 cm	20 cm	20 cm	

2. ábra: Típus pályaszerkezetek a szemcsés modellen

forgalmi kategória	úttükör teherbírása (MPa)		
	10	15	20 + 40
F1	talajcsere után az új talaj és teherbírás függvényében	20 cm	
F2	talajcsere után az új talaj és teherbírás függvényében	vagy	15 cm
F3	talajcsere után az új talaj és teherbírás függvényében	15 cm 20 cm	

3. ábra: Típus pályaszerkezetek a hidraulikusan kötött rétegű modellen

6.táblázat: szemcsés rétegek igénybevétele és számított függőleges összenyomódás

számított függőleges összenyomódás (microstrain)						
úttükör modulus (MPa)	szemcsés réteg vastagsága 20 cm		szemcsés réteg vastagsága 25 cm		szemcsés réteg vastagsága 30 cm	
	szemcsés réteg felső síkja	úttükör felső síkja	szemcsés réteg felső síkja	úttükör felső síkja	szemcsés réteg felső síkja	úttükör felső síkja
20	-1236	-4391	-1734	-3104	-1956	-2299
25	-882	-2988	-1167	-2101	-1330	-1559
30	-667	-2311	-893	-1625	-1040	-1210
40	-457	-1568	-602	-1101	-700	-819

be a bemutatott eljárást alkalmazva, valamint a számításokat alacsony (<20 MPa) úttükör teherbírásra is elvégeztük, mely számításokat itt szintén nem részleteztünk.

3.4.4. Az aszfaltbeton rétegek, ütemezett kiépítés

Az F1 kategóriában, a földmű modulusának függvényében szereplő pályaszerkezeti rétegek esetében a lépcsőzetes, a nagyobb forgalmi terhelés elviselésére alkalmas pályaszerkezet kiépítésére is lehetőség nyílik. A szemcsés rétegek esetében az F2 és F3 kategóriákban, valamint a hidraulikus kötőanyagú rétegek esetében az F1, F2, F3 kategóriákban építhető pályaszerkezeti rétegek esetében a lépcsőzetes kiépítés nem értelmezhető, mivel ezek a szerkezetek önmagukban megfelelnek mind a három terhelési kategóriának.

A mechanikai méretezés alapján megállapítható, hogy aszfaltbeton réteg építése egy ütemezett kiépítés során az első lépcsőben a teherbírás szempontjából nem szükséges. A szemcsés rétegekből, az F1 kategóriában épített pályaszerkezeteket a tervezési élettartam végén aszfaltbeton réteg építésével meg lehet erősíteni, mely megerősítés egyben a magasabb forgalmi kategóriába lépést is lehetővé teszi.

Hidraulikus kötőanyagú réteg esetén az aszfalt réteg építését teherbírás hiányosságok nem indokolják, itt elsősorban a felület vízzárását hivatott a záró réteg szolgálni, mely funkciót lágyaszfalt réteg és felületi bevonat is elmaradék nélkül el tudja látni.

7. táblázat: hidraulikusan kötött rétegek pályaszerkezeti modellje

réteg	úttükör modulus (MPa)	hidraulikusan kötött réteg (MPa)	
vastagság (mm)	-	150	200
modulus (MPa)	20	2 000	2000
	25		
	30		
	40		

8. táblázat:

hidraulikus modellen számított igénybevételek és függőleges összenyomódás

számított függőleges összenyomódás (microstrain)		
úttükör modulus (MPa)	hidraulikusan kötött réteg vastagsága 15 cm	hidraulikusan kötött réteg vastagsága 20 cm
	úttükör felső síkja	
20	-1 834	-1 186
25	-1 459	-958
30	-1 243	-824
40	-960	-645

4. Összefoglalás

A fenti gondolatmenetben igen fontos szerepet kapnak a tervezés és prognosztizálás kérdései. A forgalom prognosztizálására egy újfajta, de egyszerű módszert közöltünk, és nagy hangsúlyt fektettünk a földmű teherbírásának kérdésére, a modellek mind ebből indulnak ki.

A Hajlékony Útpályaszerkezetek Méretezési Utasítása (HUMU) a pályaszerkezet méretezése során a forgalom és a földmű teherbírás CBR (California Bearing Ratio) értékeiből indult ki, nagy jelentőséget tulajdonítva a földmű méretezési teherbírás értékének. Az 1991-ben kiadott új méretezési utasítás ezzel szemben egy másfajta koncepciót fogalmaz meg a méretezés során: egy kiindulási (minimum) földmű teherbírás követel meg (melynek állandóságát a HUMU-hoz hasonlóan feltételezi), és ebből a kiindulási alapból méretezi a különböző réteg-felépítésű pályaszerkezeteket. A „minimum” földmű teherbírásnál jobb értékeket a méretezés során a pályaszerkezet vastagságának csökkentésével figyelembe veszi a méretezési utasítás, azonban azzal, hogy csak a jobb teherbírás esetén, ezzel egyfajta „teljesítményelvűbb” megközelítés látszik kirajzolódni, mint a HUMU esetében. A kisforgalmú utak méretezése során is ezt a koncepciót követték, hiszen az ÚME szintén előír egy kiindulási földmű teherbírás (melyet védőréteggel, vagy a nélkül kell/lehet teljesíteni).

A földmű teherbírását a HUMU a CBR mértékadó értékének meghatározásával, míg az új méretezés a tárcsás teherbírás E_2 modulusának mérésével veszi figyelembe. Az E_2 tárcsás teherbírás nagy mennyiségben, és viszonylag gyorsan el lehetett végezni, és a mérési eredmények az építési helyszínre jellemzőek. Ezzel az áttéréssel azonban éppen az előzetes laboratóriumi tervezhetőség vált nehézkessé. A tervezést az egyes talajfajták tapasztalati teherbírására alapozza az új utasítás, mely bizonyos határok között természetesen jó közelítésnek vehető.

A kisforgalmú utak típus pályaszerkezetének meghatározása során szintén a mechanikai méretezés eszközei szolgáltak alapul, és jelen írásunkban is ezt alkalmaztuk, egy újfajta meg-

közelítésben, lehetőséget adva ezzel mind az olcsóbb (de azonos funkciójú és teljesítményű), mind az ütemezett kiépítésre.

A kisforgalmú utak m^2 -re vetített költsége az országos közutakon épített típus pályaszerkezetekhez képest alacsonyabb, azonban a beruházó (önkormányzatok) költségvetésének szempontjából ez az alacsony költség is magas. Az ilyen szempontból magas ár miatt minden járulékos költséget igyekeznek a beruházó elkerülni. A laboratóriumi tervező vizsgálatok tipikusan ebbe a kategóriába tartoznak. Azonban kisforgalmú utak esetében könnyen előfordulhat, hogy a betervezett földmű teherbírás inkább technológiai, mint építés kivitelezési okok miatt nem tartható be, ekkor azonban a teherbírás javító réteg beépítésére már sem műszaki, sem gazdasági lehetőség nincs.

A kisforgalmú utak esetében a vállalkozásba adása előtti geometriai, technológiai és ezekből adódó költség-tervezés legalább olyan fontos, mint bármely más, az országos közutakon épített utak, vagy a nagy teljesítőképességű nagylétesítmények esetében, mivel a kis forgalmú utak esetében a pályaszerkezet teszi ki a költségek jelentős részét.

Meglátásunk szerint érdemesebb ezért az új méretezési módszer elve szerint a tárcsás teherbírás mérésnél maradni, a típus szerkezeteket azonban a HUMU-hoz hasonlóan a földmű teherbírásától függővé tenni. Így a tervezés fázisában gyorsan, olcsón meghatározható földmű paraméterekkel rendelkezik a tervező, mely a műszaki-gazdasági tervezéshez fontos input adatot szolgáltat.

Jelen írásunkban azokat a műszaki megfontolásokat vázoltuk fel, melyek a modern pályaszerkezet méretezési eljárásokat alkalmazva bizonyítja az olcsóbb és egyúttal ütemezett kiépítés lehetőségét, hangsúlyozottan változatlan teljesítmény és betöltött funkció mellett. Ez a megközelítés az erőforrások optimális felhasználását tűzi ki célul, hangsúlyozva a tervezés és prognosztizálás döntő fontosságát, mely kihat a kivitelezésre és a fenntartásra is.

Irodalom

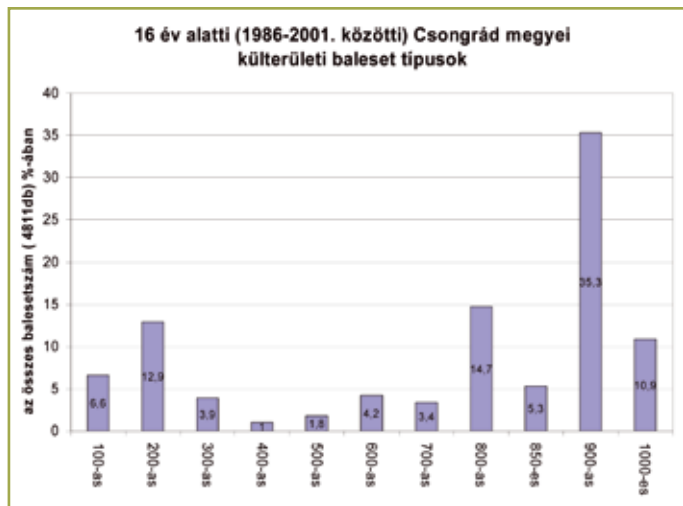
- [1] Nemesdy E.: Az új magyar típus-útpályaszerkezetek mechanikai méretezésének háttere, Közlekedésépítés- és Mélyépítéstudományi Szemle, 1992.8
- [2] Stabilizált földutak, Kézdi, 1967
- [3] Conception et dimensionnement des structures de chaussée - 1994, LCPC, SETRA
- [4] ÚT 2-1.503:2006, Kisforgalmú utak pályaszerkezetének méretezése

Summary

Economic Pavement Structures for Low-volume Roads

Paving of municipal roads is a timely and important task in Hungary. The existing technical specification on pavement structural design is suitable for national roads but it is sometimes too demanding in case of low-volume municipal roads. Re-utilisation of suitable waste materials like fly-ash or slag can be a viable alternative. The article shows a simple but practical method for pavement structural design based on mechanistic approach. Using the SHELL-BISAR software stresses and strains are calculated and pavement structure types are established. Empirical bearing capacity values of different sub-base materials help to simplify the calculation.

Másfél évtized baleseteit átnézve, kigyűjtve a Csongrád megyei állami utak külterületi szakaszaira a balesettípusok megoszlása az 1. ábra szerint alakult. Egyértelmű a 900-as típuscsoport uralma, dominanciája. Ez zömében a magános, a pályaelhagyásos



1. ábra: Balesettípusok megoszlása

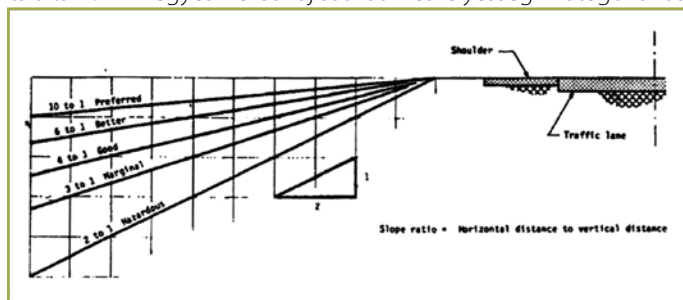
baleseteket jelenti. Ha a burkolatról lemegy az autó, akkor kedvezőtlen esetben a 2. ábrán látható, vagy hasonló kellemetlenségek adódnak. Jó lenne megakadályozni a sokszor súlyos és nagy anyagi kárral járó baleseteket. Az egyik lehetőség szalagkorlát, vasbe-



2. ábra: Pályaelhagyásos baleset

ton fal építés, sodrony elhelyezés a koronaél környékén. A másik lehetőség a földmunka geometria módosítása. A Közutak tervezése című UME három rézsűhajlást ismer: 1:1,5, 1:2 és 1:2,5. Legjobb esetben tehát két és feles a rézsűnk.

A szakirodalomban keresgélve a 3. ábrán látható grafikont találtam. Az egyes rézsűhajlásokat veszélyességi kategóriákba

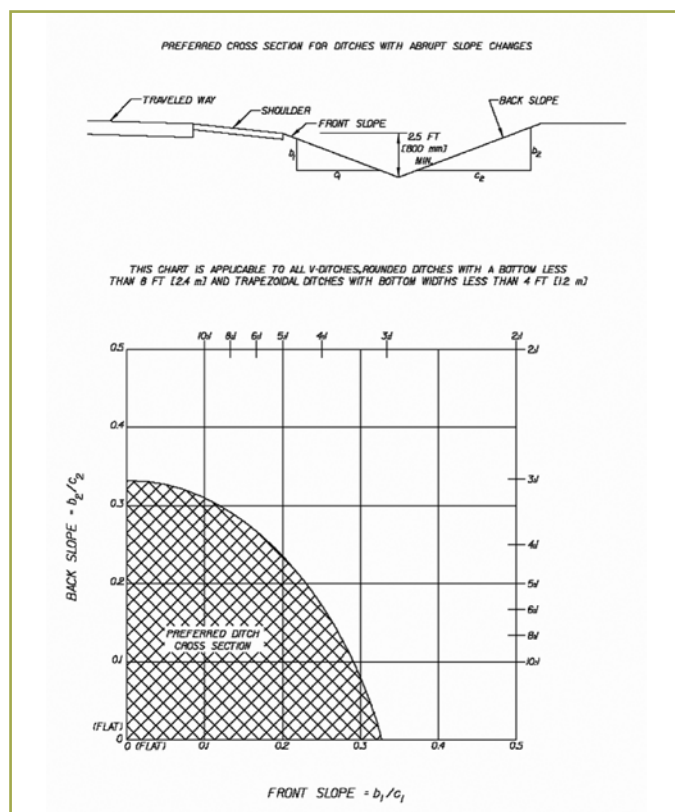


3. ábra: Rézsűhajlások minősítése forgalombiztonsági szempontból (1:2 veszélyes, kockázatos; 1:3 határeset; 1:4 jó; 1:6 jobb; 1:10 előnyben részesített)

sorolja. A grafikon szerint két rézsűhajlásunk a kockázatos, a veszélyes csoportba esik, míg egy a veszélyes és a határeset közé. A jó rézsűhajlás 1:4 körül kezdődik, a grafikon szerkesztője az 1:10 körüli értéket javasolja. Nyilvánvaló az, hogy ettől nagyon távol vagyunk.

De nemcsak a rézsűhajlásunkkal van baj, hanem az árkainkkal is. A címbeli szakadékkal a meredek falú, mély árkainkra céloztam. Aki ezekbe befut, esélye sincs a visszajövetelre, sokszor még a túlélésre sem. Az M5 autópálya mellett szaporodnak a síremlékek. Helyük egyértelműen kijelölik azokat az új autópálya szakaszokat, amelyek földmű geometriája nem felel meg a bemutatott diagramoknak. Természetesen ugyanilyen nem megfelelő szakaszok nagy számban vannak az állami úthálózaton is.

Számomra meglepő volt az, hogy a szakirodalomban egyesek megkülönböztetik az út felőli és úttól távolabbi árokrézsűt, és ezeknek eltérő nevet is adnak. A kétféle árokrézsűnek különböző hajlást adnak, amelyek azonban az alábbi grafikonok szerint összefüggnek egymással. Háromszög keresztmetszetre a 4. ábra, a tra-



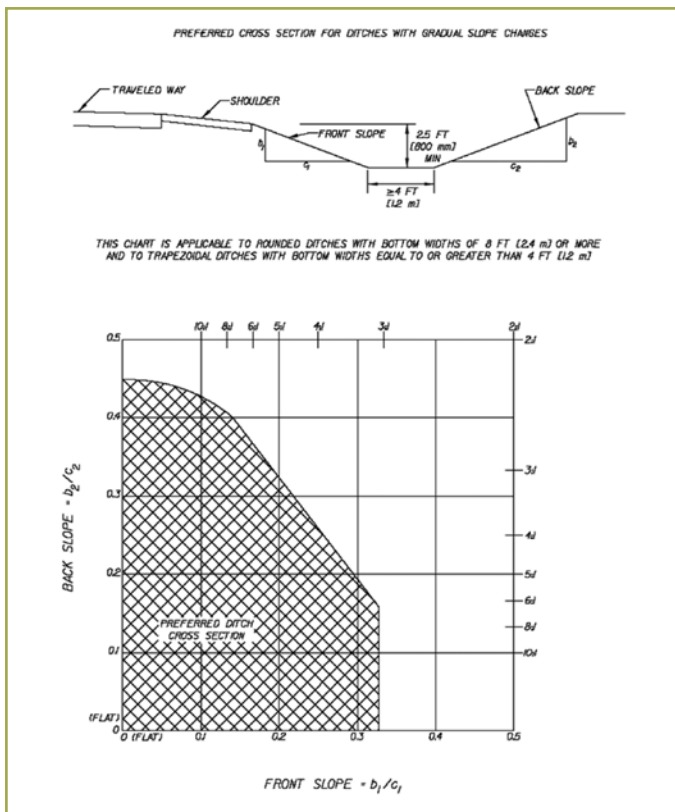
4. ábra: Háromszögárok javasolt keresztmetszete (front slope=útburkolat felőli részű, back slope=útburkolattól távolabbi részű)

péz keresztmetszetre az 5. ábra mutat értékeket.

A mi előírásunk legkedvezőbb értéke 1:2,5=0,4 a „front slope” értékeként. Az első az, ami a grafikonból kitűnik, hogy ekkora érték a grafikon szerint nem is választható. A 0,33 kb. 1:3 lehet, mint szélső érték. Ha az út felőli részűnek 0,3-ra, azaz 1:3,33-ra veszünk fel, akkor ehhez a „back slope” legfeljebb 0,1, azaz 1:10 lehet! Más szemlélet, más világ.

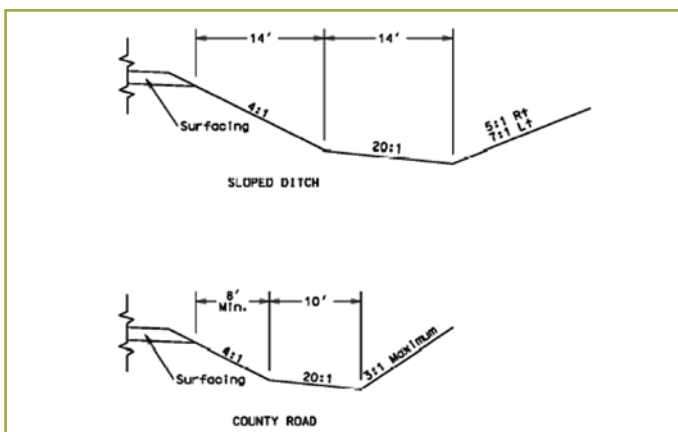
Nem kell magyarázni azt, hogy az enyhébb rézsű, árokrézsűk mennyivel több embernek tennék lehetővé a visszatérést a

¹ Okl. erdőmérnök, Okl. építőmérnök és területi főmérnök, Magyar Közút Kht. Csongrád Megyei Területi Igazgatósága,



5. ábra: Trapézárók javasolt keresztmetszete (front slope=útburkolat felőli részű, back slope=útburkolattól távolabbi részű)

burkolatra, mennyivel kisebb károk keletkeznének. A burkolatról leszaladó autóst nem halállal és totálkárrel büntetnénk, hanem egy ébresztő hatású ijedséggel. A „megbocsátó út” elveivel teljes összhangban. Egy lehetséges mintát látunk a 6. ábrán.



6. ábra: Főút és mellékút menti árok

Meglévő utak mellett utólag kellene az út környezetét a fentiek szerint rendezni. Több terület kell? Igen. Van költsége? Igen, ismerjük. A biztonságunk ára van. Akkor is, ha teszünk valamit, akkor is, ha nem.

Van költsége a szalagkorlátnak, a baleseteknek, a részsűmódosításnak. Ki kellene számolni azt, hogy ezek közül melyik a legkisebb és aszerint választani. Az úttervezési előírásunkat kellene úgy módosítani, hogy ne tudjon a megrendelő „spórolni” a részsűhajlás, az árokérésűk hajlása felvételével, mert amit az egyik helyen megtakarítunk, amiatt másutt súlyos árat kell fizetni. Az összességében legolcsóbb megoldás a jó megoldás itt is.

Új útnál bejön még egy szempont. Az eddigiekből, a balesetveszélyesség felől közelítve az következne, hogy az a jó út, amely terepszinten fut és nincs mellette árok. Ilyeneket láthatunk azokban

az amerikai filmekben, amelyek sivatagos tájakon játszódnak. De a mi országunk nem ilyen. Nálunk az árvíz és a belvíz miatt a víz az úr. A 7. ábra az elsősorban víz uralta területeket mutatja az ideai adatok felhasználásával, a vízűgyes honlapról letöltve.



7. ábra: Magyarország belvíz által veszélyeztetett területei

A térkép a terepen a 8. ábra szerinti vagy még kellemetlenebb dolgokat jelent. Mivel a fél Magyarország gondja a belvíz, nyilvánvaló az utak terepszintből való kiemelésének javaslata. Ha legalább 1,0-1,5 m-rel kiemelnénk a környező terepből az utakat, akkor a víz és a fagykáros hatásait is mérsékelnénk. Az olvadási és fagykáros költsége is ismert. A kiemelés és a pályaelhagyás ellentmond egymásnak. Mégis azt szeretném javasolni, hogy a térkép szerinti országrészben az új utakat legalább 1,0-1,5 m-rel emeljük ki a terepből és legyen kötelező az előbbieket szerinti részsűk használata. A nagyobb, szélesebb útterület igény nem baj, mert erre úgyis szükség lenne, de azt egy másik anyagban beszéljük meg.



8. ábra: Belvizes útszakasz

Összefoglalás

Mindenek előtt szükség lenne a tervezési előírás módosítására, és egy kizárólag az útterület burkolaton kívüli részeivel foglalkozó UME elkészítésére, amelyre a fejlett országokban már van példa. Tegyük egy lépést a megbocsátó út megvalósítása felé.

Summary

Dangerous Chasms Besides Roads

Several fatal accidents and serious injuries occur when motorists leave the pavement and meet steep slopes and deep ditches. Existing Hungarian technical specifications do not deal with this problem. Building forgiving roads mild slopes can help as well as applying different front and back slopes in case of ditches. Improving traffic safety requires cost optimisation and a renewed technical specification concerning roadside areas.

BETONBURKOLATÚ AUTÓPÁLYÁK ÉPÍTÉSE ÉS FENNTARTÁSA A CSEH KÖZTÁRSASÁGBAN

KAREL POSPISIL¹ – JOSEF STRYK² – JIŘÍ POKORNÝ³ – VLADIMÍR DOLEŽEL⁴

1. Betonburkolatok a Cseh Köztársaságban

1.1 Történeti előzmények

A Cseh Köztársaságban az 1930-as években építették az első betonburkolatokat formásínek között. A II. világháború kitöréséig újabb szakaszok készültek, ekkor azonban a merev pályaszerkezetek építése több mint 20 évre abbamaradt. Az 1960-as évek végén és az 1970-es évek elején Csehszlovákia – amely időközben a Cseh Köztársaságra és Szlovákiára vált szét – volt az első állam Európában, amely a Prága – Brünn - Breclav vonalon, a D1-es és a D2-es autópálya készítésekor csúszószalus finisert alkalmazott.

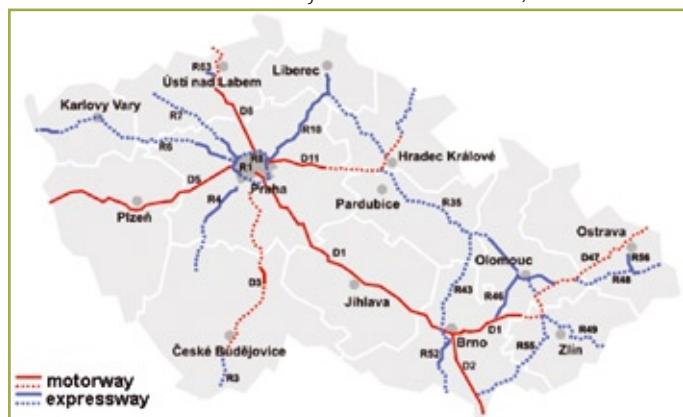
A merev pályaszerkezetek vasalatlan egyrétegű betontáblából álltak, keskeny hézagokkal, de teherátadó acélbetétek és hézagkiöntő anyagok alkalmazása nélkül. A cement kötőanyagú ágyazatra vékony elválasztó aszfaltréteget építettek. Egészen 1993-ig ezt a technológiát részesítették előnyben. A teherátadó acélbetétek és a kiöntőanyagok hiánya miatt ennek a pályaszerkezet-típusnak a jellegzetes tönkremeneteli formája a táblalépcső volt. 1995-től kezdve a cseh betonburkolatokat két rétegben, vasalt hézagokkal készítették. A legtöbb új autópályát 1977-ben helyezték forgalomba (a D1-es autópálya Mirosovice és Lokat közötti 54 km-es szakaszát és a D5-ös autópálya Plzen és a német A6-os autópálya közötti 63 km-es szakaszát).

1.2 A 2006-os állapot

2006-ban több mint 70 km-nyi új autópályát terveznek átadni mintegy 1300 millió euró értékben. Ez a 2005-ös intenzív autópálya-építés folytatása, amikor egyszerre 6 helyen készült autópálya.

Az utóbbi időben változatlan a cseh autópálya-hálózat hajlékony és merev burkolatú hányada egyaránt 50-50 % körüli részarányt képvisel. A cseh szabványok csak két burkolattípust különböztetnek meg: merev (betonburkolatú) és hajlékony (aszfaltburkolatú). A cement kötőanyagú burkolat-alappal készült aszfaltburkolatokat is hajlékony pályaszerkezetűeknek tekintik, ugyanis a „félíg merev” fogalom a cseh szakmai körökben nem terjedt el.

Az 1. ábra az eddig épült cseh autópályákat és gyorsforgalmi utakat mutatja be. (Ez utóbbi két úttípus műszaki jellemzőit tekintve gyakorlatilag nem különbözik egymástól, inkább csak adminisztratív okok indokolják a szétválasztást.) Az 1. táblázat



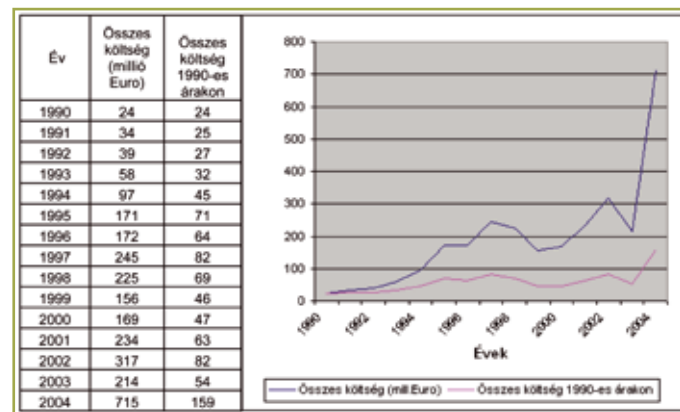
1. ábra: Elkészült és tervezett cseh autópályák és gyorsforgalmi utak (a tervezett szakaszokat pontozott vonal jelzi) (forrás: RSD)

ugyanakkor azt szemlélteti, hogy 2006. január 1-jén mennyi volt a különböző cseh úttípusok összes hosszúsága. A 2. ábra pedig a cseh autópálya-építésre fordított összegezett költségeket mutatja, 1990-es összehasonlító áron is.

1. táblázat:

Cseh út- és autópálya-hálózat 2006. január 1-jén (Forrás: RSD)

	Autópálya	Autóút	I. oszt. út	II. oszt. út	III. oszt. út	Összesen
Hosszúság (km)	564	322	5 831	14 667	34 124	55 510



2. ábra: Autópálya-építési költségek 1990 és 2004 között (forrás: RSD)

2. Az új betonburkolatok építése

2.1 Tervezés és építés

A betonburkolatokra vonatkozó európai szabványokat fokozatosan beépítik a cseh szabványosítási rendszerbe. Ezeket a követelményeket kiegészíti a jelenleg átdolgozás alatt álló CSN 73 6123 „Burkolatépítés – merev pályaszerkezetek” cseh szabvány. Ezenkívül a Cseh Köztársaság Közlekedési Minisztériuma TP 170: A Minisztérium Pályaszerkezet-tervezési és műszaki minőségi szabványai TKP 6. kötet: Betonburkolatok tárgyú szabvány előírásai is érvényesek.

A 2. táblázatban láthatók azok a burkolatvastagságok, amelyek a CSN 736123 számú cseh szabványban vannak előírva. A szabvány új változata szerint a tábla vastagsága a tervezőtől függ, (csupán a legkisebb méreteket adják meg.)

A betontábla hosszúsága (a szomszédos keresztthézagok közötti távolság) nem lehet a rétegvastagság 25-szörösénél nagyobb, a 6 m-t azonban semmiképpen nem haladhatja meg. A 25 mm-es átmérőjű és legalább 500 mm-es hosszúságú teherátadó acélbetéteket epoxigyanta bevonattal látják el, és a tábla középmélységében, keresztirányban 250-500 mm-enként helyezik el. A táblaszélesség az utaknál a 4,5 m-t, repülőtereti futópályáknál pedig a 8,5 m-t nem haladhatja meg.

¹ főosztályvezető, Közlekedési Kutatási Központ (CVD), Brno, e-mail: pospisil@cdv.cz
² osztályvezető, Közlekedési Kutatási Központ (CVD), Brno, e-mail: josef.stryk@cdv.cz
³ egyetemi docens, Pardubice-i Egyetem, e-mail: jiry.pokorny@upce.cz
⁴ tanszékvezető, Pardubice-i Egyetem, e-mail: vladimir.dolezel@upce.cz

2. táblázat: Érvényes táblavastagsági előírások a Cseh Köztársaságban

Táblavastagság (mm)	Repülőtéri futópályák	I.	II.	III.	IV.
		osztályú utak			
Legkisebb érték	220	220	200	150	100
Legnagyobb érték	400	260	240	220	180

Jelmagyarázat: I – autópályák és gyorsforgalmi utak, II. – főutak; III. – mellékutak, városi utak, tehergépkocsi-parkolók; IV. – kis forgalmú települési utak, kiszolgáló utak, személygépkocsi-parkolók.

Korábban a pálya keresztirányú keféleszt alkalmazták felületképzésként. Így hosszú ideig kedvező csúszásellenállást sikerült ugyan elérni, de a pálya gördülőzaja elfogadhatatlanul magasnak bizonyult. A pályán jutaszövet és érdesítése szolgál újabban a felületi habarcsnak a pályáról történő eltávolítására. A friss betont a benne levő nedvesség gyors elpárolgásától, a kiszáradástól védeni kell; ennek érdekében a felületre legalább 7 napig hatékony párazáró bevonatot permeteznek.

Tágulási hézagokat vágnak a még viszonylag friss burkolatba, legfeljebb 4 mm-es vastagságú körfűrészszel. A teherátadó acélbetétekkel ellátott kereszt hézagok a tábla 25-30 %-ának megfelelő mélységűek, míg ez az arány a kötővassal készült hossz hézagok esetében 30-35%. A hézagvágás legalkalmasabb időpontját próbavágásokkal határozzák meg. Majd a kereszt hézagokat legalább 10 mm-es, a hossz hézagokat pedig legalább 8 mm szélességűre szélesítik ki, utána pedig forró bitumenes kiöntőanyaggal vagy rugalmas gumiprofilokkal töltik ki azokat.

A betonkeverék összetétele a következő:

- repülőtéri futópályákhoz, valamint az I. és II. osztályú utakhoz 370 kg/m³, a III. osztályú utakhoz 350 kg/m³, míg a IV. osztályúakhoz 330 kg/m³ a legkisebb megengedett cementadagolás (az egyes útosztályok magyarázata a 2. táblázatban található),
- a 0,25 mm-esnél kisebb finom részek mennyisége a 450 kg/m³-t nem haladhatja meg,
- javasolják, hogy a 2 mm alatti habarcsstartalom 16 mm-es legnagyobb szemcse nagyságig az 550 l/m³-t, 22 vagy 32 mm-es szem nagyságnál pedig az 525 l/m³-es értéket ne haladja meg,
- a víz/cement-tényező legfeljebb 0,45 (számításba véve az adalékanyag nedvességtartalmát és a 3 l/m³-t meghaladó mennyiségű folyékony adalékszer is),
- kétrétegű építéstechnológia esetében csak ugyanaz a cementtípus alkalmazható mindkét rétegnél,
- nem engedik meg különböző cementtípussal készült keverékek vagy pedig más-más cementgyártó kötőanyagának az alkalmazását,
- a gyorsforgalmi és az I. osztályú utakhoz 42,5-es portland-cementet kell használni, a többi úttípushoz is ezt ajánlják.

Az érvényes cseh szabvány légpórusos beton alkalmazását írja elő: ennek aránya 16 mm-es maximális szemcse nagyságú, képlékenyítőszert nélküli keverékeknel 4,5 %, nagyobb maximális szem nagyságnál 4,0 %, plasztifikátor adalékolása esetében pedig 5,5, illetve 5,0 %. A keverési idő a 2 percet nem haladhatja meg.

A betonkeverék elterítéséhez az optimális léghőmérséklet +5 és +25 oC közötti, 70 %-os relatív nedvességtartalom mellett, az éjszakai és a nappali hőmérséklet között 10 oC-nál nagyobb különbség nem lehet, +5 oC alatt a betonozást le kell állítani, vagy pedig különleges intézkedésekre van szükség.

2.2. Új technológiák

Külföldi, főleg osztrák tapasztalatok alapján egy kísérleti szakaszon a „mosott” burkolatfelületet kipróbálták. Ennek az építéstechnológiának az alkalmazásával a gördülőzaj akár 5 dB-lel is csökkenthető. (A Skanska cég a D1-es autópálya Vuskov és Morice közötti részén 50 m-es hosszúságú szakaszt épített ezzel a technológiával.) Négy különböző kötéslassítót próbáltak ki, a technológia és az alkalmazott gépek jellemzésével (Srutka, 2005).

A Stravby Silnic a Zeleznic cég az ún. „aszfalt-beton” technológiát szabadalmaztatta. Az ezzel a technológiával készült burkolatra 1 nap után rá lehet lépni, míg könnyű forgalom 3 nap, nehéz gépjármű-forgalom pedig 7-10 nap után hajthat rá. Ezt az eljárást alkalmazták már, egyebek mellett, a Holesovice kikötőben, Jablonec Nisou egyes autóbusz-megállóiban, Mlada Boleslav-ban a Skoda cég rakodóállomásán (Skarkova, 2005).

3. Javítások és felújítások

3.1. Burkolatállapot-felvételi módszerek a Cseh Köztársaságban

A cseh Közúti Autópálya Főigazgatóság (RSD) gyűjti a többkritériumos nemzeti PMS működtetéséhez szükséges információkat. Ehhez, a felületi jellemzőkhöz az ARAN (ARGUS) és a SCRIM (TRT), a szerkezeti paraméterekhez pedig az FWD (ejtősúlyos behajlásmérő) és a deflektográf (statikus behajlásmérő) kerül alkalmazásra. A homogén szakaszokat a kapott adatok alapján 5 osztályba sorolják, a nagyon jó állapotútól a tönkrementig, ezáltal a PMS adatbázisa számára automatikus inputot szolgáltatva.

A merev burkolatok hibáira vonatkozó információkat a Cseh Köztársaság Közlekedési Minisztériumának TP 91 „Merev burkolatok átépítése” és a TP 92 „Betonburkolatok hibakatalógusa” műszaki szabványának előírásai alapján gyűjtik, és dolgozzák fel.

A következő technológiákat alkalmazzák, a legegyszerűbektől kezdve, a legelterjedtebbeken keresztül a legdrágábbakig (a hézagok, a repedések és a kátyúk javítását és fenntartását itt nem említjük):

- helyi javítás
- táblalépcső lemarása kereszt hézagnál,
- teherátadó acélbetétek utólagos elhelyezése kereszt hézagoknál,
- táblaemelés,
- táblacsere,
- a betontáblák átburkolása (vékony aszfaltréteggel, kevert mikrobevonattal, felületi bevonattal) előzetes hézagjavítással,
- a régi betontáblák összetörése, majd arra vékony aszfaltréteg elterítése,
- a régi betontáblák összetörése, majd arra vastag aszfaltréteg elterítése,
- a betonburkolat teljes átépítése.

A 4 mm-es meghaladó táblalépcsők környezetét javítani kell. 5 mm-es magasságkülönbségig marásos technológia kerül előtérbe. Efölött a táblákat, a burkolat alatti üregek aláinjektálásával megemelik, valamint utólagosan teherátadó acélbetéteket építenek be (6 db-ot egy forgalmi sávban). A marásos technológiát alkalmazták a D1-es autópálya számos szakaszán, főleg a jobb forgalmi sávban, de esetenként a nagy sebességű járművek által igénybe vett bal sávban is. A technológia a D2-es és a D11-es autópálya egyes újabb szakaszain is alkalmazásra került. Egyes korábbi építésű autópályák (főleg a D1-es, de egy esetben

a D2-es) rövid szakaszain, a jobb pályán utólagosan teherátadó acélbetéteket helyeztek be. Ezek közül a leghosszabb szakasz 13 km-es (a D1-es autópálya Vyskov irányában, a 103 és 116 km szelvények között, a haladó sáv). A 3. ábra mutatja be a marási technológia kombinálását az acél betétek utólagos behelyezésével a D11-es autópályán, Prága irányában, a 133 km szelvényben.



3. ábra: Marás, teherátadó acélbetétek és kötővasak utólagos behelyezése a D11-es autópályán (133 km, Prága irányában).

Az említett szakaszon esetenként táblaemelésre is sor került, a teherátadó acélbetétek utólagos elhelyezésével együtt. A 4. ábra mutatja be a táblaemelés helyét, a burkolatba fúrt lyukakkal, a D1-es autópálya Prága felé vezető pályán a 119,5 km szelvényben, a jobb forgalmi sávban. Ha a betontáblák teljes vastagságban meghibásodtak (pl. az egész táblán végighúzódnak a repedések) és a helyi habarcsos javítási technológia nem eléggé hatásos, az egész táblát ki kell cserélni.



4. ábra: Táblaemelés a D1-es autópályán, a Prága felé vezető pályán, a 119,5 km szelvényben, a haladó sávban

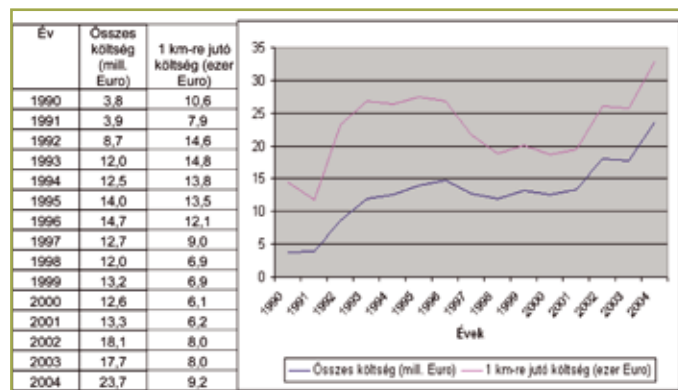
A másik lehetőség a betontábláknak, a szükség szerinti hézagjavításokat követő újraburkolása vékony aszfaltréteggel, kevert mikrobevonattal vagy felületi bevonattal. Ennek során olyan pályajellemzők is megjavíthatók, mint a gördülőzaj vagy az egyenetlenség. A régi betontáblák összetörése, majd különböző vastagságú aszfaltréteggel történő újraburkolása akkor kerül előtérbe, ha a pálya hosszabb szakaszon egyenetlen, valamint azon nagy számban hézag- és felületi hibák jelentkeznek. A betonburkolat összetörését és vastag aszfaltrétegekkel történő megerősítését 1995-ben hajtották végre a D1-es autópálya 92,8 és 93,9

km szelvényei között, ahol 140-380 mm-es vastagságú erősítésre került sor. Az itt szerzett tapasztalatokat hasznosították, amikor a D1-es autópálya 8,4-21,0 km szelvényei közötti szakaszán vékony aszfaltréteggel végeztek újraburkolást. Erre a beavatkozásra a két forgalmi sávú pálya három forgalmi sávra történő szélesítéséhez kapcsolódóan került sor. Az új aszfaltréteg sehol sem volt 150 mm-esnél vastagabb. A merev pályaszerkezet teljes átépítése (az alaprégteg lokális javításával és újrahasznosított anyagok alkalmazásával), szélsőséges variánsnak tekinthető. A hosszú szakaszon alkáli-szilika reakció által érintett D11-es autópálya átépítése a Cseh Köztársaságban „hírhedt” példa.

Teljesen más a helyzet a D1-es autópálya 164 és 170 km szelvényei között, amely több mint 30 éves üzemeltetési idő után is még tökéletes állapotban van. Nyilvánvaló tehát, hogy amennyiben jó minőségű anyagokat használnak fel, és a technológiai előírásokat betartják, akkor az útkezelők és az úthasználók által annyira óhajtott hosszú élettartam elérhető.

3.3. Költségek és azok összehasonlítása

Az 5. ábra a cseh autópályák éves fenntartási költségeit, illetve azoknak 1 km-re vonatkoztatott fajlagos értékeit szemlél-



5. ábra: A cseh autópályák fenntartási költségei 1990 és 2004. között (Forrás: RSD)

teti. Az aszfalt- és a betonburkolatok költségeit a Cseh Köztársaság Közúti és Autópálya Főigazgatósága (RSD) hasonlította össze. 2003-ban hajtották végre a D1-es autópálya egy aszfalt- és egy betonburkolatú szakaszára vonatkozóan az építési, a fenntartási és a felújítási költségek összevetését. A két szakasz megközelítőleg ugyanakkor (1972 és 1976 között) készült, forgalomnagyságuk és éghajlati jellemzőik egyformák. A 3. táblázat az említett vizsgálat egyes eredményeiről tájékoztat (Bimbaumova, 2003), az építési költségeket, valamint a kivitelezéstől 2002-ig tartó időszakban felmerült összes fenntartási-felújítási költséget veti össze.

3. táblázat:

A D1-es autópálya építési, fenntartási és felújítási költségeinek összehasonlítása

	Betonburkolat (1972-2002)	Aszfaltburkolat (1976-2002)
Építési költség (Euro/m ²)	9,4	8,2
Fenntartási és javítási költség (Euro/m ²)	14,3	31,8
Összes költség (Euro/m ²)	23,7 (59 %)	40,0 (100 %)

Az aszfaltburkolatú autópálya-szakasznak a kopóréteget 13 év után teljes mértékben fel kellett újítani, majd újabb 6 év múlva a kopóréteg és az alaprégteg felújítására került sor. A betonburkolat ezalatt pedig csak helyi javításra szorult. Ebből

a példából nyilvánvaló, hogy a fenntartási-felújítási költségeket hangsúlyozottan figyelembe kell venni, amikor a burkolat élet-tartam alatti összes költségét mérik fel.

A cseh Közlekedési Minisztérium megbízására a CDV (Centrum Dopravního Výzkumu), Közlekedési Kutató Központ) által művelt, korábban említett kutatás-fejlesztési projekt részeként, a kutató intézet a betonburkolatok különböző építési, javítási és felújítási technológiáiról információkat gyűjt, és a legújabban készített autópályák gazdasági mérőszámait összehasonlítja. A 4. táblázat két, közelmúltban épített aszfalt-, illetve betonburkolatú autópálya (a D8-as autópálya 88,8 és 90,5 km közötti, aszfaltburkolatú, valamint a D11-es autópálya 68,0 és 78,9 km közötti, betonburkolatú szakaszának) építési költségeit hasonlítja össze. A 3. és a 4. táblázat összevetése rámutat az áraknak az elmúlt 30 évben bekövetkezett nagymértékű emelkedésére is.

4. táblázat:

Összehasonlítás a D8-as és a D11-es autópálya egy-egy szakaszának kivitelezési költségei között

	D11-es autópálya, 68,0-78,9km, merev pályaszerkezet (2002)	D8-as autópálya, 88,0-90,5km, hajlékony pályaszerkezet (2004)
Kivitelezési költség (Euro/m ²)	52,0	46,3

4. Következtetések

A betonburkolat-építés technológiája a Cseh Köztársaságban meglehetősen hosszú múltra tekinthet vissza. Jelenleg a cseh autópályák mintegy 50 %-a betonburkolatú. A merev pályaszerkezetek építési költsége átlagosan mintegy 10 %-kal meghaladja a hajlékonyakét. Az úthasználói szempontból lényeges minőségi paramétereik meglehetősen hasonlóak. A cseh Közúti Főigazgatóság által megjelentetett tanulmány szerint – a vizsgált szakaszokon – a betonburkolatok összes élettartam alatti költsége az aszfaltburkolatú variánsoknak jelentősen alatta marad. A CDV (Közlekedési Kutató Központ) jelenleg folyó kutatási témája ezeket az eredményeket kívánja igazolni, illetve kiterjeszteni azokat az egész cseh autópálya-hálózatra. A 2008-ra tervezett befejezésű projekt további célkitűzése, hogy a betonburkolatok fenntartási ciklusait megállapítsa.

Köszönetnyilvánítás: A cikk elkészültéhez hozzájárult a Cseh Köztársaság Közlekedési Minisztériuma, az általa adott 1F55B/090/120 és MDO 4499457501 számú megbízások révén.

Irodalom

- Birnbaumova, M.: Zkusenosti s vystavbou CB krytu v Ceske republice. (Merev burkolatokkal szerzett tapasztalatok a Cseh Köztársaságban). In Cementobetonove vozovky 2003, Slovakia, Bratislava, October 21 – 22, 2003, pp. 16 – 21.
- CSN 73 6123 – Pavement Construction: Rigid Pavements, Czech Standard
- Skarkova, J.: Minutes from the meeting of Czech Road Association – section of rigid pavements, Prague, May 23, 2005.
- Srutka, J.: Povrchova uprava cementobetonovych vozovek – vymyvany beton. (Betonburkolatok felületképzése – "mosott" felülettel). In Technologie, provadeni a kontrola betonovych konstrukci, Prague, April 6, 2005, pp. 37 – 42.
- TKP Chapter 6 – Rigid Pavements, Technical Standard of Ministry of Transport of the Czech Republic, 2001.

- TP 62 – Catalogue of Rigid Pavement Failures, Technical Standard of Ministry of Transport of the Czech Republic, 1995.
- TP 91 – Reconstruction of Rigid Pavements, Technical Standard of Ministry of Transport of the Czech Republic, 1997.
- TP 92 – Design of Maintenance and Repair of Rigid Pavements, Technical Standard of Ministry of Transport of the Czech Republic, 1997.
- TP 170 – Pavement Design, Technical Standard of Ministry of Transport of the Czech Republic, 2004.

Summary

CONSTRUCTION AND MAINTENANCE OF RIGID MOTORWAYS IN THE CZECH REPUBLIC

The construction technology of concrete pavements has a long tradition in the Czech Republic. Currently, about 50% of the Czech motorways have concrete pavements. The construction cost of rigid pavements exceeds by about 10% that of flexible pavements. However, the total life-cycle costs of concrete pavements are considerably lower than with bituminous pavements. From the road user point of view, their important quality parameters are similar. The paper describes details of the construction and maintenance technologies.

Kéziratok tartalmi és formai követelményei

Folyóiratunk általában eredeti cikkeket közöl, az ettől való eltérést külön jelöljük. Kérjük szerzőinket, a kézirat leadásakor nyilatkozzanak, hogy a cikket máshol nem jelentették meg és nem adták le közlésre. Megrendelésre készült munka ismeretésekor kérjük, hivatkozzanak a megrendelőre. Kérjük, hogy külön jelöljék meg a felhasznált képek forrását (készítőjét).

A cikkek javasolt terjedelme 4-8 nyomtatott oldal. Egy csak szöveget tartalmazó oldalon mintegy 6000 karakter fér el. A cikk terjedelmét a Word Fájl / Adatlap / Statisztika helyén ellenőrizhetik.

Kérjük tisztelt szerzőinket, hogy a megjelentetni kívánt cikkek kéziratát a következő formában készítsék el:

- A kézirat szövege önállóan, esetleges lábjegyzetekkel, ábra, táblázat- és képhivatkozásokkal, a szöveg végén külön ábrajegyzékkel, *.rtf vagy *.doc formátumban,
- táblázatok és grafikonok külön-külön, *.doc vagy *.xls formátumban,
- ábrák, fényképek stb. külön-külön, *.xls *.tif, *.eps vagy *.jpg (300 dpi felbontással!) formátumban. Az azonosíthatóság és kezelhetőség érdekében valamennyi táblázat, grafikon, ábra, fénykép
- a szövegbe nem beágyazva, hanem önálló file-ban szerepeljen az elektronikus anyagban,
- sorszámmal és címmel legyen ellátva.

Kérjük, hogy a cikkhez egy 40-80 szó terjedelmű angol nyelvű kivonatot mellékelni szíveskedjenek.

Kérjük, hogy valamennyi szerző elérhetőségét (munkahely, postacím, telefomail) tüntessék fel.

A kéziratokat e-mailen, vagy szükség esetén CD-n a felelős szerkesztő címére kérjük küldeni.

(szerk.)

Aszfaltburkolatok súrlódási összetevőinek változása és a csúszásellenállás értékének hőmérsékleti korrekciója

Changes in Asphalt Pavement Friction Components and Adjustment of Skid Number for Temperature
Subhi M. Bazlamit, Farhad Reza
Journal of Transportation Engineering
2005. 6. p. 470-476. á:12, t:1, h:7.

A csúszásellenállás során kialakuló súrlódási erő hőmérséklettől való függését vizsgálták a gumiabroncs és az útfelület kölcsönhatásának elemzésével. A valós burkolatokat laboratóriumi próbatestekkel jellemezték, melyeken a csúszásellenállás mérését a hordozható British pendulum (inga) mérőeszközzel végezték. A British pendulum BPN mérési eredményei az USA-ban használatos súrlódási mérőszámra (skid number) jól átszámíthatók. A súrlódási erő két összetevője a nedves adhézió és a hiszterézis, melyeket külön-külön mértek víz illetve szappanoldat segítségével. Az adhézió a gumiabroncs és az útfelület érintke-

zési felületén alakul ki az anyagok alapvető tulajdonságaiból adódóan. A hiszterézis összetevőt a gumiabroncs deformációja eredményezi, mely az útfelületi textúra egyenetlenségeinek hatására jön létre. A burkolat öregedését és elhasználódását a próbatestek ciklikus mechanikus polírozásával szimulálták. A vizsgálatokat 5 különböző hőmérsékleten folytatták. Megállapították, hogy a hiszterézis összetevő a hőmérséklet növekedésével csökkent, és ez adta a teljes súrlódási erő nagyobb részét. Az adhéziós összetevő a felületi textúra állapotára volt érzékenyebb. A mészkő adalékot tartalmazó próbatestek kezdeti csúszásellenállása nagyobb volt, de a polírozódás során hamarabb lecsökkent. A polírozott felületeken, melyek a valóságos burkolatokhoz közelebb állnak, a teljes csúszásellenállás a hőmérséklet növekedésével közelítőleg lineárisan mérséklődött. 40 C fok hőmérséklet emelkedés az átlagos BPN értéket 62-ről 52-re csökkentette. A valóságos burkolatokon ez az állapot tekinthető jellemzőnek. A csúszásellenállás mérések összehasonlításánál célszerű lenne egy adott referencia hőmérsékletre, például 20 C fokra átszámítani a mért értékeket.

G. A.

Nehéz gépjárművek személygépkocsi egyenérték tényezőinek meghatározása torlódásos forgalomban

Developing Passenger Car Equivalency Factors for Heavy Vehicles during Congestion
Ahmed Al-Kaisy, Jounghan Jung, Hesham Rakha
Journal of Transportation Engineering
2005. 7. p. 514-523. á:2, t:5, h:23.

Az USA Közúti Kapacitási Kézikönyve (Highway Capacity Manual, HCM) széles körben alkalmazza a személygépkocsi egyenérték tényezőket, ezen a módon becsülve a nehéz járműveknek a forgalmi folyamra gyakorolt hatását zavartalan forgalmi körülmények esetén. A szakemberek azonban gyakran helytelenül mindenféle forgalmi helyzet leírására használják ezeket a tényezőket, így a zavart és torlódásos forgalom esetében is. A közelmúltban gyűjtött tapasztalati adatok azt sugallják, hogy a zavartalan forgalmi körülményekre meghatározott személygépkocsi egyenérték tényezőket torlódás esetén jelentősen alábecsülik a nehéz járművek hatását. A cikk új személygépkocsi egyen-

érték tényezőket javasol, melyek autópályákon és több sávós közutakon használhatók torlódásos forgalom esetén. Kanadai tapasztalati adatok és torlódásos útszűkületre alkalmazott mikro-szimulációs futtatások segítségével megállapították az új személygépkocsi egyenérték tényezőket. A számításokat vízszintes útszakaszra és különböző emelkedők esetére is elvégezték. A javasolt táblázatos forma megegyezik a HCM hasonló táblázatával, azonban a torlódásos esetben a személygépkocsi egyenérték tényezők lényegesen magasabbak. 2% alatti emelkedésű útszakaszokon a nehéz járművek forgalmi részarányától függően a torlódásos forgalom esetén javasolt személygépkocsi egyenérték tényező 2,4-2,7 közötti, szemben a HCM zavartalan forgalomra vonatkozó 1,5 értékével (a magyar hasonló érték 2,5). Nagyobb emelkedők esetén a javasolt új érték az eredeti alapértéknek akár kétszerese is lehet. A torlódásos forgalom esetére javasolt új személygépkocsi egyenérték tényezőket elősegítik a nehéz járművek hatásának realisabb figyelembe vételét a különböző forgalmi helyzetek elemzése során.

G. A.

Repedés adatok gyűjtésének megismételhetősége rugalmas burkolatokon – videó kamerás, lézer kamerás és egyszerűsített kézi felmérések összehasonlítása

Repeatability in Crack Data Collection on Flexible Pavements: Comparison between Surveys Using Video Cameras, Laser Cameras and a Simplified Manual Survey
Petra Offrell, Leif Sjögren, Rolf Magnusson
Journal of Transportation Engineering
2005. 7. p. 552-562. á:10, t:5, h:19.

Repedés adatok kézi vagy gépi felméréssel gyűjthetők. Hagyományosan a kézi módszert használták, és még most is

az a legelterjedtebb. Az automatizált gépi adatgyűjtő rendszerek hatékonyabb és objektívebb adatgyűjtést tesznek lehetővé. A cikk a videó kamerás automatizált repedés adatgyűjtő rendszer (PAVUE) méréseinek megismételhetőségét értékeli. Tíz megismételt mérést végeztek egy 10 km-es átlagos állapotú útszakaszon Svédországban. A repedések felmérését hat lézer kamerás mérőautóval (RST) is elvégezték, és összehasonlították a két mérési módszerrel kapott eredményeket. A gépi mérésekkel egyidejűleg egyszerűsített kézi felvételt is folytattak mozgó autóból három különböző személlyel. A megismételhetőségi értékeket összehasonlították a videó kamerás és a lézer kamerás gépi mérés hasonló értékeivel. Az automatizált mérőrendszerek megismételt mérései között magas korrelációt találtak. A videó

kamerás mérések átlagos korrelációs együtthatója 0,94, a lézer kamerás mérésé 0,93 értékre adódott. A kézi szubjektív mérés átlagos korrelációs együtthatója ezzel szemben lényegesen alacsonyabb volt, csak 0,35 értéket mutatott. A lézer kamerás mérések értékelésénél a textúra hatása miatt nehéz a tényleges A cikk javaslatot tesz a repedés mérések értékelésénél használható jellemzőkre. A videó kamerás felvétel négyzet-hálós kiértékelésével megállapítható a repedésekkel érintett

terület nagysága és annak elhelyezkedése, mint legalkalmasabb jellemző. Egyszerűbb statisztikai leíró jellemzők továbbá a repedések összes hossza és a repedésekkel érintett 1m-es útszakaszok száma illetve aránya. Ezek a jellemzők 100 m-es rész-szakaszokra összegezve a hálózati adatgyűjtés számára megfelelő értékelést biztosítanak.

G. A.

2006. december 1-jén hatályba lépő útügyi műszaki előírások

2. Forgalm szabályozás témakörben

ÚT 2-1.133 Közúti jelzőtáblák. Idegenforgalmi jelzőtáblák és alkalmazásuk
(Hatálytalanítja az ÚT 2-1.133:1998 Közúti jelzőtáblák. Idegenforgalmi jelzőtáblák és alkalmazásuk, az ÚT 2-1.133/1M:2005 útügyi műszaki előírásokat, illetve az ÚT 2-1.157:2002 Közúti jelzőtáblák. Az útbaigazító jelzőtáblák megtervezése, alkalmazása és elhelyezése című útügyi műszaki előírás 36. pontját.)

3. Tervezés témakörben

ÚT 2-1.203 Kerékpárforgalmi létesítmények tervezése (A KTSZ kiegészítése)
(Hatálytalanítja az ÚT 4-1.203:1995 Kerékpárforgalmi létesítmények tervezési útmutatója és útbaigazító jelzésrendszere című útügyi műszaki előírást.)

15. Egyéb, különleges anyagok témakörben

ÚT 2-3.705 Beton pályalemezű közúti hidakon alkalmazott szigetelési rendszer hőtűrő képességének és víz-állóságának laboratóriumi vizsgálata
(Hatálytalanítja az ÚT 2-3.705:1999 Beton pályalemezű közúti hidakon alkalmazott szigetelési rendszer hőtűrő képességének laboratóriumi vizsgálata című útügyi műszaki előírást.)

ÚT 2-3.708 Bontott útépitési anyagok újrahasználata II. Telepen történő hideg újrahasznosítás (Új előírás)

A Magyar Útügyi Társaság az alábbi útügyi műszaki előírások munkaanyagaihoz várja a kollégák hozzászólásait

2. Forgalm szabályozás témakörben

ÚT 3-1.117 Jármű- és gyalogosérzékelők (detektorok) alkalmazása
(Az ÚT 3-1.117:1995 A jármű- és gyalogosdetektorok alkalmazása című útügyi műszaki előírás helyett.)

ÚT 2-1.137 Pihenőhelyek és szolgáltató létesítmények telepítése gyorsforgalmi közúthálózat mellé
(A KTSZ kiegészítése)
(Az ÚT 2-1.137:1998 útügyi műszaki előírás helyett.)

9. Földművek témakörben

ÚT 2-1.222 Utak és autópályák létesítésének általános geotechnikai szabályai
(Az ÚT 2-1.222:2002 Utak geotechnikai tervezésének általános szabályai című útügyi műszaki előírás helyett.)

10. Beton- és kőburkolatok témakörben

ÚT 2-3.206 Útpályaszerkezetek kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú alaprétegei. Építési előírások
(Az ÚT 2-3.206:2003 útügyi műszaki előírás helyett.)

ÚT 2-3.207 Útpályaszerkezetek kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú alaprétegei.
Tervezési előírások
(Az ÚT 2-3.207:2003 útügyi műszaki előírás helyett.)

11. Aszfaltburkolatok témakörben

ÚT 2-3.301 Útépitési aszfaltkeverékek és út-pályaszerkezeti aszfaltrétegek
(Hatálytalanítja az ÚT 2-3.301:2006 útügyi műszaki előírást.)

ÚT 2-3.315 Útburkolatok felületi bevonata. Hideg keveréses technológiával készült felületi bevonatok
(Az ÚT 2-3.315:2003 Útburkolatok felületi bevonata. Hideg keveréses és terítéses technológiával készült felületi bevonatok című útügyi műszaki előírás helyett.)

12. Híd- és műtárgyépítés témakörben

ÚT 2-3.402 Közúti hidak építése I. Beton, vasbeton és feszített vasbeton hídszerkezetek építése
(Az ÚT 2-3.402:2004 útügyi műszaki előírás helyett.)

ÚT 2-3.410 Beton útburkolatok átvezetése hidakon
(Új előírás)

Magyar Útügyi Társaság Publikációs bizottság

www.maut.hu



I. helyezés Karkus János: Ívhegesztés



II. helyezés Tóth Gábor: Útfenntartó szakmunkás gyakorlati vizsga I.



III. helyezés és Közönségdíj André László: „Százlábú” születik



IV. helyezés Horváth Kálmánné: Egy útkaparó álma



V. helyezés Mátyus Károly: Próbaút

Közúti fotópályázat nyertesei

Novemberi lapszámunkban a közúti fotópályázat „Riport” kategória helyezettjeit mutatjuk be.

ÁRA | 300 FT

REVUE OF ROADS AND CIVIL ENGINEERING

HUNGARIAN MONTHLY REVUE OF ROADS
AND CIVIL ENGINEERING
BUDAPEST

A SZERKESZTÉSÉRT FELELŐS: DR. KOREN CSABA

SZERKESZTŐSÉG: SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM,

KÖZLEKEDÉSÉPÍTÉSI ÉS TELEPÜLÉSMÉRNÖKI TANSZÉK

UNIVERSITAS-GYŐR KHT.

9026 GYŐR, EGYETEM TÉR 1.; TEL.: 96 503 452; FAX: 96 503 451;

E-MAIL: KOREN@SZE.HU, TOTHZS@SZE.HU

KIADJA: MAGYAR KÖZÚT KHT. 1024 BUDAPEST, FÉNYES ELEK U. 7–13.

DESIGN ÉS NYOMDAI MUNKA: INSOMNIA REKLÁMÜGYNÖKSÉG KFT.

ELŐFIZETÉSBEN TERJESZTI A MAGYAR POSTA RT. HÍRLAP ÜZLETÁGA
1008 BUDAPEST, ORCZY TÉR 1.

ELŐFIZETHETŐ VALAMENNYI POSTÁN, KÉZBESÍTŐKNÉL,

E-MAILEN: HIRLAPELOFIZETES@POSTA.HU, FAXON: 303 3440.

TOVÁBBI INFORMÁCIÓ: 06 80 444 444.

MEGJELENIK HAVONTA **600** PÉLDÁNYBAN.

KÜLFÖLDÖN TERJESZTI A „KULTÚRA” KÜLKERESKEDELMI VÁLLALAT
(BUDAPEST 62, POSTAFIÓK 149).

INDEX 25 572 ISSN 1419 0702