

Ipari katasztrófa kivizsgálása GC-MS módszerrel

Bodroghelyi Csaba* – Király István* – Elfert Gyula** – Pletyák Mihály** – Borossay József*** – Torkos Kornél***

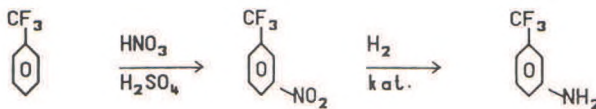
Előzmény

1922 január 9-én a reggeli órákban a Budapesti Vegyiművek Illatos úti telepén sajnálatos baleset történt. A Szerves Üzemcsoport Folyamatos Mononitráló Üzemében benzotrifluorid nitrálása zajlik. A nitrálás során képződő mononitro-benzotrifluoridot ezután redukálják. A keletkező aminos-benzotrifluorid gyógyszer, növényvédőszer és festékipari alapanyag. Az akkor még ismeretlen okból bekövetkező hármás robbanás a folyamatos mononitráló üzem készülékeiben történt.

Az események kivizsgálására többek között a Vegyi- és Robbanóanyagipari Környezetvédelmi Biztonságtechnikai Fejlesztő és Szolgáltató Vállalatot (VRF) kérték föl. A vizsgálatok a vállalat telephelyén valamint a VRF és az ELTE közös laboratóriumában zajlottak le.

A gyártási folyamat

A 3-amino-benzotrifluorid gyártása benzotrifluoridból (BTF) kiindulva történik. A desztillált BTF-et a folyamatos mononitráló üzemen nitrálják egy többlépcsős kaszkád reaktor rendszeren. A nitráláshoz használt kevert sav kénsav és salétromsav 2,1:1 arányú elegye. A nitrálás 50–55 °C-on, heterogén fázisban zajlik, a hőmérséklet tartását értéktartó hűtővíz szabályozókör biztosítja. A keletkező orto-, meta- és para-nitro-benzotrifluorid elegy redukcióját a hidrogénező üzemen végzik hidrogénnel katalizátor jelenlétében. A redukció során keletkezett aminos-benzotrifluorid elegy szétválasztása a rektifikáló üzemen történik. Fő termék a 3-amino-benzotrifluorid, [1]:



A robbanás oka

Előzetes vizsgálatok alapján abból a feltételezésből indultunk ki, hogy a robbanás kiváltó oka az volt, hogy idegen anyag, nevezetesen aminos-benzotrifluorid került a mononitráló üzem kiindulási anyagot (benzotrifluoridot) tartalmazó tartályaiba. Ezt alapul véve két úton próbáltuk bizonyítani a feltételezés helyességét. Egyrészt modellkísérletet állítottunk össze, és a VRF telephelyén ellenőrzött körülmények között lejátszottuk a feltételezett reakciót, másrészt a reakció termékeit összevetettük a robbanás helyszínén vett mintákkal.

Modellkísérletek

1. BTF és aminos-BTF 1:1 arányú keverékének nitrálása technológia szerinti körülmények között:

Adagolótolcsérekén keresztül adagoltunk kevert savat és 1:1 arányú BTF és aminos-BTF elegyet egy 100 ml-es főzőpohárba. Az anyagot híganyos hőmérővel kevertük, és jég-víz eleggyel hűtöttük úgy, hogy a hőmérséklet 45 és 60 °C között volt. Mintegy 40 ml reakcióelegy képződése után leállítottuk az adagolást és a hőmérsékletet 50 °C-ra csökkentve a keverést is beszüntettük. A reakcióelegy lassan kezdett melegedni, először pezsegni, majd felhabzani, végül a termikus bomlásra jellemző sárga és barna gőzök képződése közben a főzőpohárból kifröcskölődött.

Az aminos-BTF-et is tartalmazó benzotrifluorid nitrálása rendkívül heves, nehezen szabályozható reakció.

2. BTF és aminos-BTF 3:1 arányú keverékének nitrálása technológia szerinti körülmények között:

A kísérletet az előzőekben leírtak szerint végeztük. A reakció csökkent hevességgel játszódott le, a felhabzás és kifröcskölődés időben később kezdődött el.

3. BTF nitrálása technológiai körülmények között:

A kísérletet az előzőekben leírtak szerint végeztük el. A reakció jóval kisebb hevességgel játszódott le, és még 90 °C-on sem gyorsult föl jelentősen, valamint nem volt tapasztalható nitrózus gőzök képződése.

4. Mononitro-BTF továbbnitrálhatóságának vizsgálata kevert sav főslégében:

100 ml-es főzőpohárba bemértünk 30 ml kevert savat és fölmelegítettük 65 °C-ra. Adagolótolcsérből 30 ml nitro-BTF-et öntöttünk hozzá hőmérővel történő keverés közben. A reakcióelegy nem melegedett, és szemmel látható változást sem mutatott. A hőmérséklet a szerves anyag és a környezet hűtő hatása szerint csökkent.

A kísérletekből megállapítható, hogy pusztán a kevert sav túladagolása miatt nem történt túlhevülés, a reakció kézben tartható volt, tehát nem okozhatott robbanást. A BTF nitrálása növekvő aminos-BTF tartalom mellett viszont egyre hevesebb reakcióban játszódik le, az aminos-BTF-tartalom függvényében hosszabb, vagy rövidebb hőakkumulációs idő szükséges a reakció felgyorsulásához, ami végén a folyamat robbanáshoz vezet.

A reakciótermékek vizsgálata GC-MS módszerrel

A robbanás és a modellkísérletek során képződött szerves vegyületeket a VRF és az ELTE közös laboratóriumában elemeztük. A rendelkezésünkre álló nagyfelbontású gázkromatográf és a hozzákapcsolt tömegspektrométer adatai, és a mérés körülményei a következők voltak:

HP 5790-es gázkromatográf

HP-1-es oszlop (25 m x 0,2 mm x 0,33 μm)

Injektor: 200 °C, Split 1:30

Vivógáz: He, 1 ml/perc

Hőprogram: 50 °C 5 percig, majd 12 °C/perc 300 °C-ig

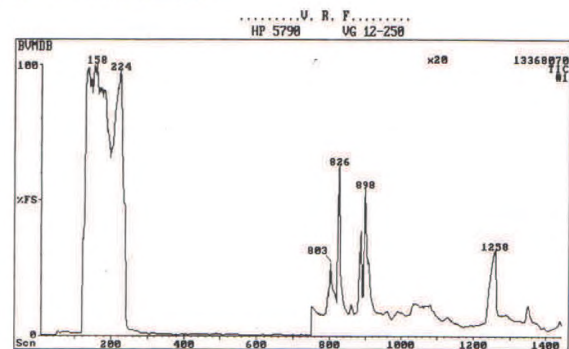
A detektorként használt tömegspektrométer:

VG 12-250

Ionizáció: EI+, 70 eV, 200 °C

Felbontás: 1000 a.m.u.

A BTF és az aminos-BTF nitrálása során a keletkező termékek a kevert savtól külön fázist alkotnak. A mintázás minden esetben ebből az olajosnak tűnő fázisból történt; diklór-metánban oldottuk fel az anyagokat. Az így készített híg oldatok alkalmasak voltak a gázkromatográfiás oszlopra való fecskendezésre, [2].

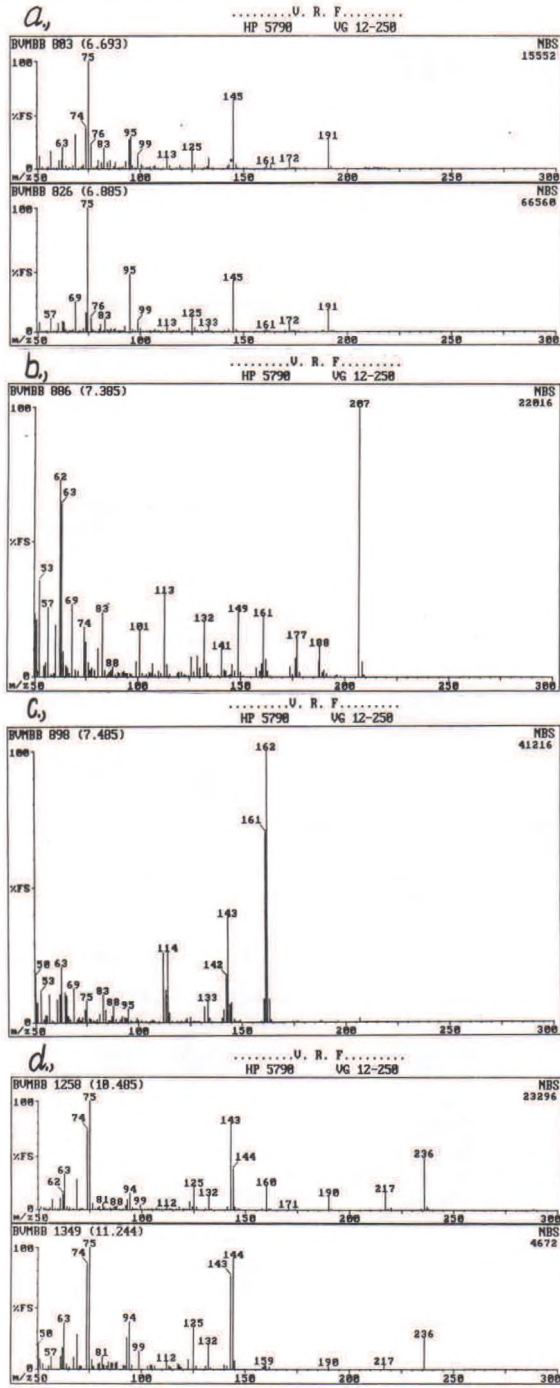


1. ábra: Az 1. kísérlet szerves fázisának a kromatogramja

*Vegyi és Robbanóanyagipari Biztonságtechnikai Környezetvédelmi Fejlesztő és Szolgáltató Vállalat

**Budapesti Vegyiművek

***Eötvös Loránd Tudományegyetem, Általános és Szerves Kémia Tanszék



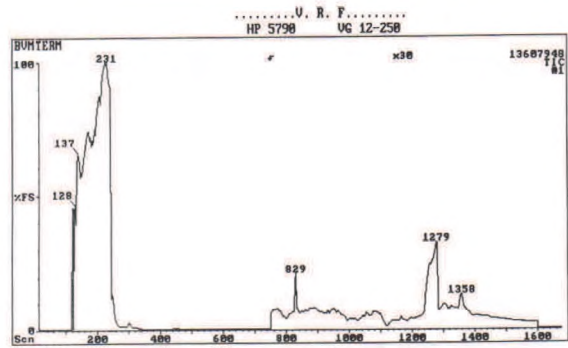
2. ábra: Az 1. kísérlet során képződött anyagok tömegspektrumai és azonosításuk a) Nitro-BTF, b) Hidroxi-nitro-BTF, c) Hidroxi-nitro-BTF, d) Dinitro-BTF

Xit Hely? Forward Backwd Reset IDEN DB LOCATOR IDEN DB: NBS
 NAME Name: Start entry: 17484 out of 53994

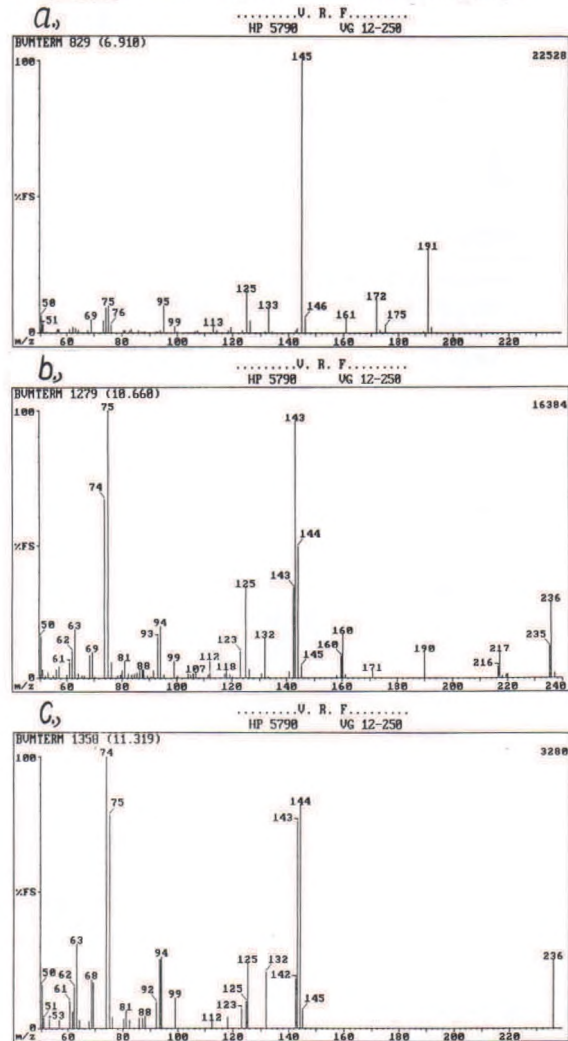
MW	Mol. Wt.	Min	Max	EBR	Bromine	Min	Max	Extra Elements
EC	Carbon	0	511	EF	Fluorine	0	63	EE1 0 63
DH	Hydrogen	0	1023	ES	Sulfur	0	63	EE2 0 63
EO	Oxygen	0	63	EP	Phosphorus	0	63	EE3 0 63
EN	Nitrogen	0	63	ES1	Silicon	0	63	
ECL	Chlorine	0	63	EB	Boron	0	63	

CAS CAS No.
 [17484]:NITRO-.ALPHA.,.ALPHA.,.ALPHA.-TRIFLUOROTOLUENE
 Formula:C7H4O2NF3 Mwt:191 CAS:384-22-5

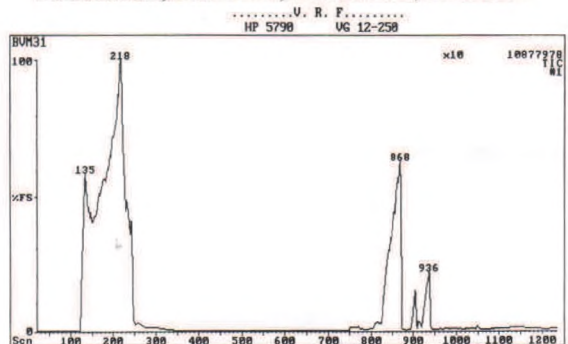
3. ábra: Az orto-nitro-BTF könyvtári spektruma



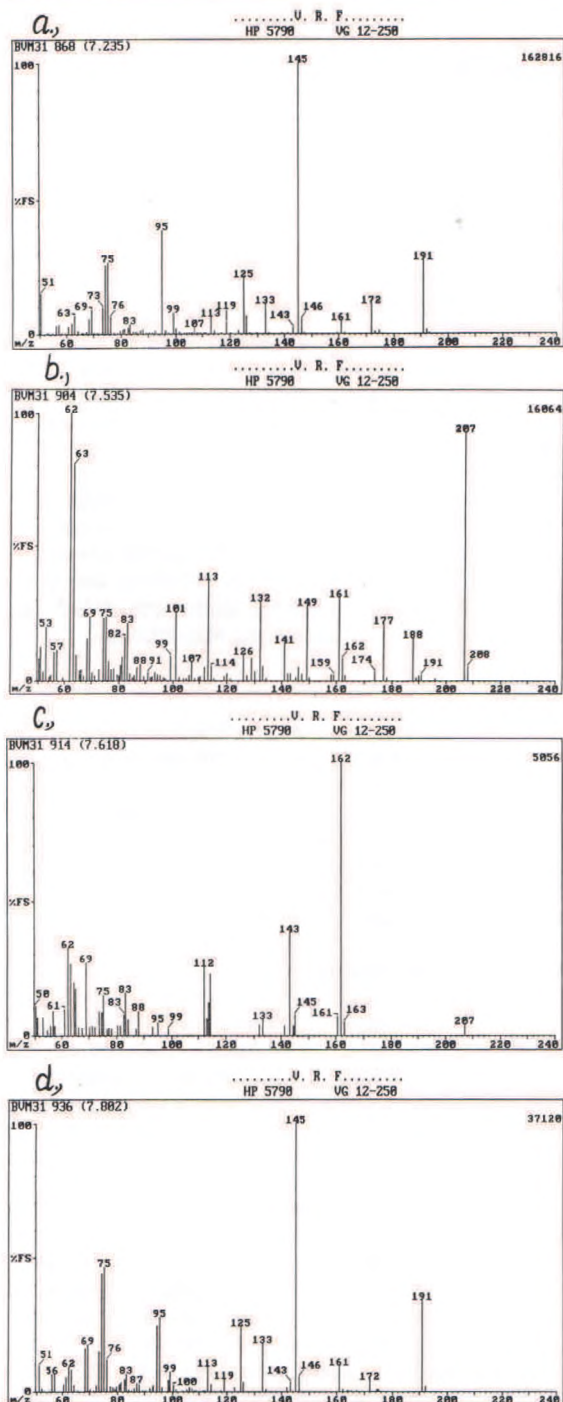
4. ábra: A 4. kísérlet szerves fázisának a kromatogramja



5. ábra: A 4. kísérlet során képződött anyagok tömegspektrumai és azonosításuk a) Nitro-BTF b) Dinitro-BTF c) Dinitro-BTF

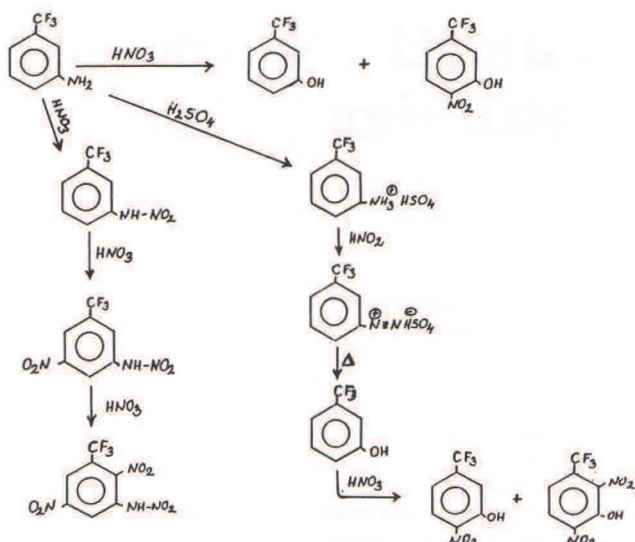
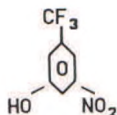


6. ábra: A reaktorból vett helyszíni minta kromatogramja



7. ábra: A reaktorból vett anyagok tömegspektrumai és azonosításuk
a) Nitro-BTF b) Hidroxi-nitro-BTF c) Hidroxi-nitro-BTF d) Nitro-BTF

Az 1. kísérlet szerves fázisából vett minta kromatogramja látható az 1. ábrán. A komponensek azonosítása a tömegspektrumok alapján történt. (2.a-d ábra) A reakció során természetesen lejátszódik a BTF nitrálódása is. A benzolgyűrűn levő -CF₃ csoport metába irányítja az elektrofil szubsztituenst, így a fő komponens a 826. scan-számú meta-nitro-BTF. (2.a ábra) A 3. ábrán látható az orto-nitro-BTF könyvtári spektruma, amiből látható, hogy a 161. és 172. fragmenspektruma alapján az orto-származékot meg tudjuk különböztetni a meta- és para-származéktól. Az 1. ábrán a 803. scan-számú csúcs tehát a para-nitro-BTF. A 2.b ábrán látható tömegspektrum a nitro-BTF OH-csoporttal továbbszubsztituált származéka:



8. ábra: A robbanás során lejátszódott reakciók

A 898. scan-számú komponens szintén hidroxi-nitro-BTF, ez az izomer kevésbé stabilis, a nitro-csoport könnyen lehasad, feltételezhetően még a kromatográfiás oszlop végén az emelkedő hőmérséklet hatására, ezért a 207-es fragmens intenzitása kicsi, és egyidejűleg megjelenik a hidroxi-BTF molekulájának a molekulaionja (162. a.m.u.). (2.c ábra) A 2.d ábrán levő, a kromatogram végén eluálódó csúcsok a BTF dinitro-származékai.

A 4. kísérlet szerves fázisából vett minta kromatogramja látható a 4. ábrán. A kromatogram egyes csúcsaihoz kapcsolódó tömegspektrumokból megállapítható, hogy a tiszta BTF és a kevert sav reakciója során nem képződtek a hidroxi-származékok, csak nitro- és dinitro-BTF. (5.a-c ábra).

A 6. ábrán a főrobbant reaktorból a helyszínen vett minta kromatogramja látható. Az 1. modellkísérlethez hasonlóan kimutatható a meta-nitro-BTF (7a. ábra) mellett a hidroxi-nitro-BTF két izomerje, valamint a nitro-csoport lehasadásával képződő hidroxi-BTF is (7.b, 7.c ábra). A hátul eluálódó nitro-BTF a 161. és 172. fragmenspektruma alapján az orto-származék. (7.d ábra)

Következtetések

Az analitikai vizsgálatok alapján tehát bebizonyosodott, hogy a robbanás során ugyanaz a reakció játszódott le, ami a modellkísérletben; természetesen mindkét esetben hidroxi-nitro-BTF-et sikerült kimutatni. A robbanást a kiindulási anyagba került 3-amino-benzotrifluorid okozta, amelyből nitrálásával való reakció során hidroxi-nitro-BTF mellett N-nitraminok is keletkeztek, melyek brizáns robbanóanyagok, [3]. A feltételezett reakcióutak az 8. ábrán láthatók.

A feltételezett reakcióutak alapján megállapítható, hogy az amino-BTF nitrálásával való elegyedésének és heves, robbanásszerű reakciójának jellemző terméke a szerves fázisból kimutatható hidroxi-BTF és hidroxi-nitro-BTF.

Összefoglalás

A Budapesti Vegyiművek Illatos úti telephelyén az elmúlt évben történt robbanás kivizsgálásakor a vállalat szakemberei az előzetes analitikai vizsgálatok alapján megállapították, hogy a benzotrifluorid mononitrálása közben a kiindulási anyagba a teljes szintézis végterméke, nevezetesen a 3-amino-benzotrifluorid került. Ez a nitrálásával intenzíven reagálva többek között robbanékony nitraminok képződéséhez vezetett. A feltételezett folyamatot modellkísérletekkel igazoltuk, melynek termékeit összehasonlítottuk a robbanás helyszínén vett mintákkal. Az analitikai vizsgálatokat nagyfelbontású gázkromatográf és tömegspektrométer kapcsolással végeztük. Ennek során a modellkísérlet termékében azonos anyagot sikerült kimutatni, mint a helyszíni mintákban.

931 023 099-104

Irodalom

- [1] Kovács Zs., Pletyák M.: Robbanás a Budapesti Vegyiművekben, Munkavédelem és biztonságtechnika 1992/3, 47-52
- [2] Dave, R.A.: Anal. Chem. 39, 1188 (1967)
- [3] Orlova, J.J.: Brizáns robbanóanyagok kémiája és technológiája. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986.

Vasúti hidak időszakos felülvizsgálata

Dr. Szittner Antal – Szépe Ferenc – Dr. Kálló Miklós–Dr. Köröndi László
Dr. Kristóf László – Kalfenbach László

A közúti és vasúti hidak tervezésére, építésére és fenntartására vonatkozó előírásokat a különböző hídszabályzatok tartalmazzák. A jelenleg érvényben levő Vasúti Hídszabályzat, a VH 76 előírja a forgalomban levő hidak állapotának rendszeres megfigyelését, valamint a jelentősebb hidak időszakonkénti próbaterhelését. A VH 76-ban közölt próbaterhelési előírások mellett a Nemzetközi Vasút Egylet (UIC), amelynek a MÁV is tagja, ma már olyan ajánlásokat is tesz, amelyek túllépnek a VH 76 minimálisnak mondható előírásain. E szerint a hidak forgalombahelyezését megelőzően, de a későbbi ellenőrzése során is a statikus próbaterhelést célszerű kiegészíteni vonathatásábra felvétellel, dinamikus próbaterheléssel és fátadási vizsgálatokkal.

A statikus próbaterhelés során minimálisan a mértékadóan elhelyezett terhelő jármű (járműcsoport) hatására keletkező lehajlás számított és mért értékét kell összehasonlítani, és meg kell állapítani a próbaterhelés során keletkező maradó alakváltozásokat. Az alakváltozás mérése vagy a híd alatt függetlenül elhelyezett állványra erősített mérőórák, induktív-, vagy ellenállás-elven működő útdók segítségével, vagy szintezóműszerrel történhet. Bonyolultabb erőjátékú, vagy újszerű hídszerkezet esetén a mért és számított feszültségeket is össze kell hasonlítani. A feszültségeket (nyúlásokat) leggyakrabban nyúlásmérő ellenállásokkal mériük.

A statikus próbaterhelésnél alkalmazott mérőelemek felhasználhatók a vonathatásábra felvételeknél, a dinamikus méréseknél, valamint a fátadási (élettartam) vizsgálatoknál is.

A hagyományos statikus próbaterhelés és vonathatásábra felvétel a mérésre kiválasztott pontokon elhelyezett mérőelemek (feszültségmérésnél nyúlásmérő ellenállások) felhasználásával, megfelelő számítógéppel vezérelt mérőhelytakapcsolóval és mérési adatgyűjtő rendszerrel végzik, amely a terhelő jármű mértékadó helyzetében a mérési eredményeket rögzíti, illetve a lépésenként mozgatott jármű hatására egyszerre több mérési ponton keletkező mérési adatok sorozatát összegyűjti.

Dinamikus nyúlásmérésnél (alakváltozás-mérésnél) és a fátadási vizsgálatokhoz az elektromos jeleknek a különböző sebességgel áthaladó járművek hatására bekövetkező folyamatos változását kell megfigyelni és a későbbiekben kiértékelni, ezért a mérőrendszert annyi mérőerősítőtől és annyi adatrögzítő csatornától kell összeállítani, ahány ponton egy időben akarjuk megfigyelni a hatásváltozást (feszültség, elmozdulás). A gyakorlatban azonban rendszerint a mérőrendszer csatornaszáma szabja meg a mérési pontok számát.

A fenti elvek alkalmazását azoknak a méréseknek, illetve feldolgozási módszereknek a bemutatásával szemléltetjük, amelyeket a MÁV megbízásából a déli összekötő vasúti híd 1948-ban forgalomba helyezett jobbágányú szerkezetén az 1987–1988 években a BME Acélszerkezetek Tanszéke végzett.

Ugyanakkor a MÁV rendelkezésünkre bocsátotta a jobbágányú híd budai parti nyílásából a 7–8. csomópontok közötti mezőből elhasználódás miatt – jelentős bontási sérülés nélkül – kiemelt hossztartó laboratóriumi fátadásvizsgálatra. Ennek eredményeiről is beszámolunk.

Statikus próbaterhelés

Főtartók

A statikus próbaterhelés során a híd alakváltozását vizsgáltuk, illetve a főtartó rúdjai közül a budai parti nyílás 7–8. csomópontok közötti alsó övrúdjaikat mértük a feszültségeket.

A terhelő jármű 4 db összekapcsolt M62 dízellokomotív (4x120 t) volt, amelyet mértékadó teherállásokban állítottunk fel. A korábbi, 1948-as próbaterhelésnél 4 db 424 sorozatszámú, illetve 1965-ben 4 db 411 sorozatszámú gőzmozdonyt használtak. A híd állapotát a konkrét teherből számított és a mért lehajlások viszonyának összehasonlításával értékeltük amelynek eredményeként a főtartók állapotának romlására nem lehetett következtetni.

A 7–8. alsó övrúd rúdejét mindkét főtartón mértük, és azt a déli főtartón 3194 kN-nak, az északi főtartón 2914 kN-nak kaptuk a tényleges teher alapján számított 3300 kN rúderóval szemben. A két főtartó rúdeje közötti eltérés az északi főtartónál levő gyalogjáró miatti aszimmetriával, a számítottnál alacsonyabb rúderő pedig a főtartó és pályatartó együttműködésével magyarázható.

Hosszartók

A híd méretezése a VH 38 alapján történt és ebből következően a pályaszerkezet a fátadás szempontjából valamivel szigorúbb VH 76 előírásainak nem felel meg.

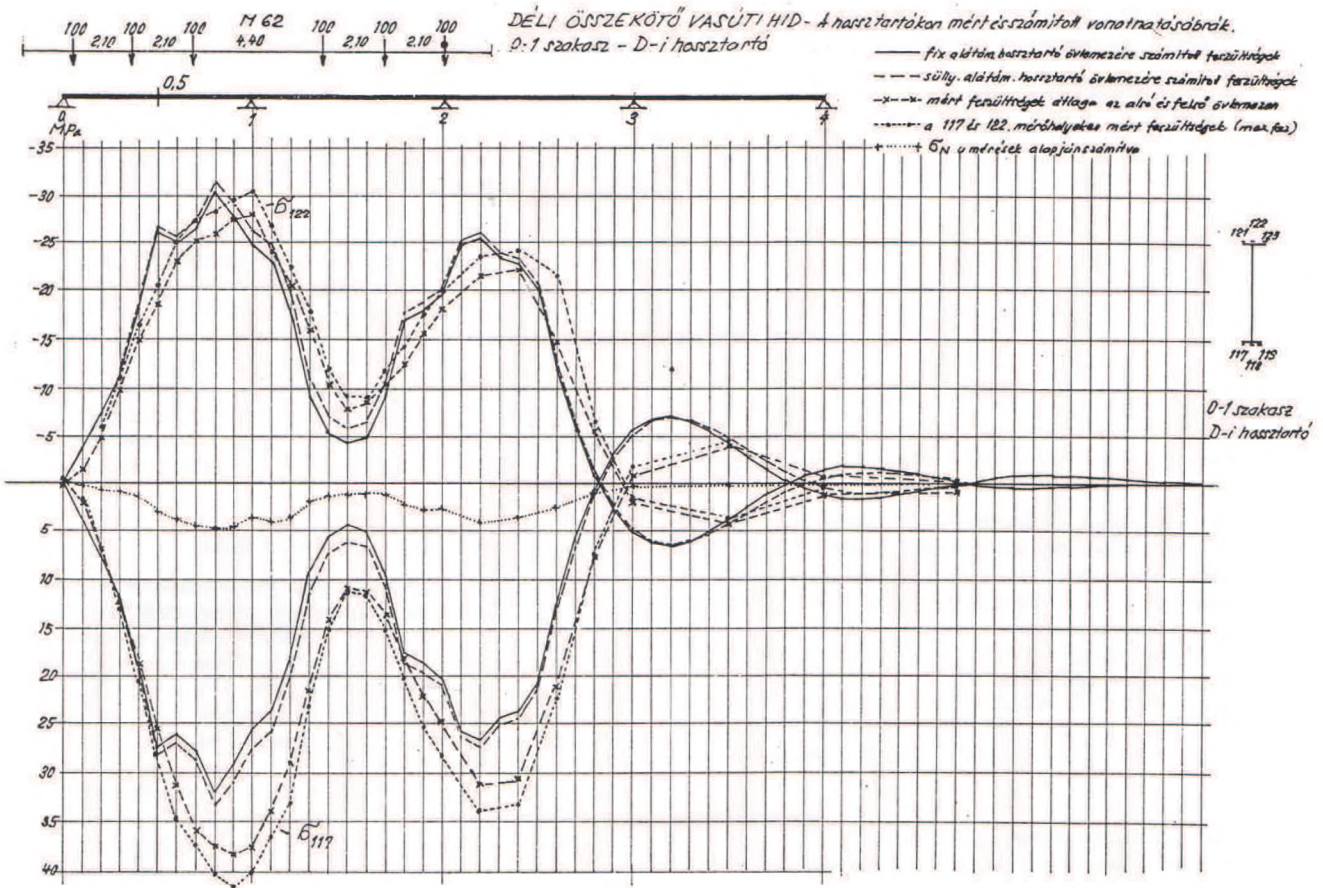
Annak érdekében, hogy a pályaszerkezet fátadásvizsgálatához mérésről nyerhető adatok megbízhatóságát, illetve a számítási eredmények felhasználásának jogosságát igazolni tudjuk, szükség volt a pályaszerkezet egyes elemeinek statikus kísérleti vizsgálatára, valamint a mért adatok számításával való ellenőrzésére.

A mért hidak és ezen belül a hosszartók igénybevételeinek számítását hatásábrák segítségével lenne célszerű ellenőrizni, de ez megfelelő nagyságú egységteher hiányában nem valósítható meg. Ehelyett meg kell elégednünk a vonathatásábrák felvételével, illetve ellenőrzésével. Ezeket úgy állítjuk elő, hogy a kiválasztott igénybevétel helyén mérőelemeket elhelyezve, jól definiált tehercsoportokat jól definiált közőkkel (1–2 hídfaköz) végigvezetve, minden teherállásnál megmérjük a keletkező hatásokat. A mért hatásokat össze lehet hasonlítani a konkrét teher és a számított hatásábra alapján összegzett hatásokkal.

Ilyen vonathatásábra felvételére került sor a déli összekötő vasúti híd hosszartóinak több keresztmetszetében, amelyek közül a támasz melletti 0–1 mező közepén a hosszartó alsó és felső övén mért feszültségek alapján szerkesztett vonathatásábrát mutatjuk be (1. ábra). Az ábrán szerepeltettük az övenként három pontban mért feszültség átlagértékének és a maximális feszültségnek a vonathatásábráját, megrajoltuk továbbá az alsó és felső övben számított átlagfeszültségek alapján a normálfeszültségek vonathatásábráját is, amelyet a főtartó és pályatartó együttműködéséből adódó többletnormálérő okozhat (ez összhangban van az alsó övrúdban mért erőhiánnyal), de ez a jelenség a felső övhöz közelebb elhelyezett hosszartó-szélrács hatásával is magyarázható.

A mért feszültségi vonathatásábrákat a merev alátámasztású, illetve a keresztartókon történő rugalmas megtámasztás miatt süllyedő alátámasztású többlettámaszú tartón számított igénybevételi hatásábrák és a konkrét mozdonyteher alapján megállapított vonathatásábrákkal hasonlítottuk össze. A déli összekötő vasúti híd statikai rendszerében a merev és süllyedő alátámasztású többlettámaszú tartó alapján számított vonathatásábra között számottevő eltérés nincs, de más hidakon adódhatnak olyan merevségi viszonyok, amikor a süllyedő alátámasztás hatása már nem hanyagolható el.

A mért és számított vonathatásábrák jó egyezése, illetve összhangja alapján elfogadható az az eljárás, amelynek alkalmazása során más hidakon, vagy más helyeken, vagy más teherből a hosszartó mértékadó keresztmetszetében a tényleges feszültségeket, illetve ezek változását



1. ábra A déli összekötő vasúti híd hossztartóin mért és számított vonathatasábrák

– megfelelő számítógépi program és vonatösszeállítás alapulvételével – számítással határozzák meg.

A mérési eredmények feldolgozása alapján további megállapítások tehetők:

A hossztartók övlemezeiben a feszültség nem egyenletes, az átlagos feszültség és a maximális feszültség közötti eltérés a 25%-ot elérheti. Ugyancsak többletfeszültséget eredményez az, hogy a szögecslyukak mellett az átlagfeszültséghez képest a csúcspont feszültség mintegy 20%-kal megnőhet, ami azt jelenti, hogy a gyengítés nélküli keresztmetszetben mért feszültségek átlagához képest a – főleg a fáradás vizsgálatánál a méretezés alapjául szolgáló – tényleges feszültségmaximum elérheti az átlagfeszültség 1,5-szörös értékét, ami semmiképpen nem hanyagolható el.

A hossztartókon keletkező igénybevétel nagyságát jelentősen befolyásolhatja a vasúti pálya, a hossztartó, az úgynevezett hosszartómegegyezés, a hosszartóbekötés és a keresztartó állapota. Alapelvként kell elfogadni azt, hogy az esetleges hibákat folyamatos karbantartással, illetve javítással olyan határ alatt kell tartani, amelynél a hosszartók erőjátéka még nem módosul, és így számítással követhető.

Dinamikus próbaterhelés

Közismert tény, hogy az álló jármű és az ugyanolyan helyzetben levő mozgó jármű okozta hatás (elsősorban feszültség) között különbség van. Az azonos paraméterű dinamikus és statikus hatás viszonya a dinamikus tényező (az említett két hatás különbsége a dinamikus többlet), amely függvénye az áthaladó jármű sebességének, a vasúti pálya függőleges és vízszintes vonalvezetésének, a pálya állapotának, valamint a híd és a mozgó jármű együttes tömegének. Ezek a hatások, melyek valójában nem foglalhatók össze egy konstans együtthatóban, a méretezési előírásokban a mértékadó teherre előírt dinamikus tényezővel vannak megadva. Itt is fel kell hívni a figyelmet

arra, hogy a kis teherrel mért dinamikus tényező a mértékadó teherre nem extrapolálható.

A dinamikus próbaterhelés célja a fentiekből következően annak megállapítása, hogy az álló ($v = 5$ km/óra sebességgel lassan mozgó) jármű okozta hatás (feszültség, lehajlás) és a különböző (pl. 25, 50, 75, 100-km/óra stb.) sebességgel áthaladó mértékadó teher okozta hatás hogyan viszonylik egymáshoz. Az így megállapított dinamikus tényező adott sebességhez és konkrét hídállapothoz tartozó értékének ismeretében írható elő egyes esetekben a szükséges sebességkorlátozás mértéke.

Fáradásvizsgálatok

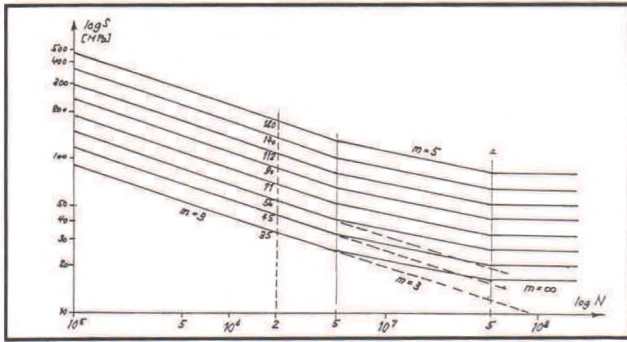
Általános elvek

A kifáradás jelensége régóta ismert és vasúti hidak esetében a kifáradásra történő méretezést már a VH 26 (1926) is előírta, az újabb szabályzatok pedig ezeket az előírásokat a kutatási eredményekkel párhuzamosan módosították.

A jelenség lényege az, hogy a szerkezet (elem, kapcsolat) a szilárdsági határállapot elérése előtt is tönkremehet, ha a terhelés sokszor ismétlődik. A fáradási jelenség a Wöhler-görbével mutatható be, amely megadja az összefüggést egy σ_{min} = állandó alapfeszültséghez képest a különböző σ_{max} -ot, illetve $\sigma_{max} - \sigma_{min} = \Delta\sigma$ feszültségkülönbséget eredményező ismétlődő igénybevétel és a tönkremenetelt okozó N ismétlődési szám között. A kísérleti tapasztalatok alapján a szegecselte és a hegesztett tartókra érvényes Wöhler-görbét a lg $\Delta\sigma$ -lg N rendszerben egyenes szakaszokkal közelítik. Az egyes szakaszok helyzetét a törésponthoz tartozó ($\Delta\sigma$, N) értékpárral és az egyenes meredekségének negatív reciprokával (m) definiálják és méretezési előírásokban rögzítik.

Például az Eurocod 3 javaslatban a kifáradási diagramot a Renard-számsor szerint növekvő $\Delta\sigma = 35, 45, 56, 71, 90, 112, 140, 180$ MPa és $N = 5 \cdot 10^6$ értékpárokkal és $m = 3$ meredekségű egyenesekkel jellemzik, melyek $m = 5$ meredekséggel folytatódnak

$N = 5 \cdot 10^7$ igénybevétel, majd $m = \infty$, azaz vízszintes egyenesbe, mint határértékbe mennek át, (2. ábra).



2. ábra Az Eurocod 3 javaslata a tartószerkezetek kifáradási diagramjára

A hídszabályzatok a „kifáradási határ” számsorát a kapcsolat kialakítása szerint adják meg. Az egyenesek hajlását az irodalomban a hegesztett szerkezeteknél $m = 3$, a szegecselt szerkezeteknél $m = 4$ értékkel veszik föl. A $\Delta\sigma$ feszültségfluktuáció megállapításánál a VH 76 a dinamikus tényezővel szorozott üzemi terhet írja elő, amely hosszabb ($>4,0$ m) pályatartók esetében a méretezés alapjául szolgáló teher 60%-a, főtartónál pedig annak 50%-a. A $2 \cdot 10^6$ ismétlési számhoz tartozó $\Delta\sigma_{f,eng}$ (a fáradási fokozat jelzőszám tízszerese) felvételénél a szabályzat lehetőséget ad – a forgalom nagyságától függően – a jelzőszám 1–2 értékkel (10–20 MPa-lal) való csökkentésére, illetve növelésére.

A VH 76 előírása a már meglévő szerkezetek ellenőrzésére, a még várható élettartamuk becslésére is felhasználható, bár az előéletnek ilyen közelítésekkel történő figyelembe vétele elég nagy elhanyagolásokat tartalmazhat, és sok esetben fáradási szempontból nem igazolható. Azon túlmenően azonban, hogy a szerkezet (kapcsolat, alapanyag) pillanatnyilag megfelel-e, igen fontos kérdés az is, hogy az eddigi használat során a fáradási teherbírása milyen mértékben merült ki, másszóval, hogy a szerkezet, a megadott előírások alapulvételével, milyen igénybevétel (használati teher) mellett még mennyi ideig használható, illetve a szerkezet jelenlegi, vagy egy adott időpontra vonatkozó biztonsága mekkora.

Ennek a várható élettartamnak (Restlebensdauer, residual fatigue life) a megállapítására ad lehetőséget a halmozódó károsodás elmélete.

Korlátjai ellenére általában a Palmgren – Miner hipotézist használják. Ennek lényege: valamely N_i élettartamhoz tartozó $\Delta\sigma_i$ igénybevétel n_i számú elviselése a szerkezetet n_i/N_i mértékben károsítja. Figyelembevéve a szerkezet igénybevételének történetét, egy vizsgált időpontban a szerkezet károsodásának mértéke:

$$\frac{1}{\bar{n}} = \sum \frac{n_i}{N_i} \quad (1)$$

illetve biztonsága:

$$\bar{n} = \frac{1}{\sum \frac{n_i}{N_i}} \quad (2)$$

értékű. A szerkezet törése akkor következik be, amikor a károsodások összege egységnyi lesz, azaz:

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = 1 \quad (3)$$

A szerkezetre érvényes, illetve előírt Wöhler-görbe egyenlete – a lg – lg rendszerben egyenessel közelítve – a következő alakba írható:

$$N = \frac{C}{\Delta\sigma^m} \quad (4)$$

ahol N a $\Delta\sigma$ feszültségkülönbséghez tartozó igénybevételi szám, (élettartam) és C egy állandó, amelynek értékét az egyes fáradási fokozatokra meghatározott, vagy előírt $\Delta\sigma_{f,eng}$, $N_{\sigma_{f,eng}}$ értékpárok –

a lg–lg rendszerben a Wöhler-egyenes töréspontjának koordinátái – ismeretében az (5) összefüggéssel számítható:

$$C = N_{\sigma_{f,eng}} \cdot \Delta\sigma_{f,eng}^m \quad (5)$$

A Wöhler-görbe (4) egyenletét beírva az (1)–(3) összefüggésekbe, a szerkezet károsodásának mértéke, illetve biztonsága és a várható élettartama becsülhető, ha ismerjük a szerkezet igénybevételének történetét.

Számításainknál vagy a VH 76 szabályzatban megadott üzemi terhekre, vagy a tényleges vonatok alapján összeállított típusvonatok adataival végzett számításokra, vagy a tényleges forgalomban felvett mérések feldolgozott eredményeire támaszkodhatunk.

Amennyiben a hídszerkezet vagy szerkezeti elem a VH 76 üzemi terhe alapján fáradásra nem felel meg (ez főleg a vasúti hidak hossztartóinál fordul elő gyakran), a másik két vizsgálati móddal még a szerkezet biztonsága esetleg igazolható. Magyar viszonyok között a második megoldás is elég nehézkes és így a harmadik megoldás választása látszik legmegfelelőbbnek. Mi is ezt tettük a déli összekötő vasúti hídnál.

Vizsgálatok a déli összekötő vasúti hídon

A déli összekötő vasúti híd fáradási igénybevételeinek megállapításához 100 áthaladó vonatra reprezentatív mérősorozatot végeztünk. A budai 0–1 csomópontok közti szakaszon mértük a hossztartók közepén, a jellemző pontokban (alsó és felső övlemez), a hossztartó konzol átkötőlemezén, valamint a híd előtt a keresztaljak között a sín talpán keletkező nyúlásokat az idő függvényében. Az analog mérési jeleket FM-rendszerű mérőmagnetofon és hőírós regisztrálón rögzítettük egyszerre hét csatornán.

A sintonpon felvett mérési jelek alapján rekonstruáltuk a terhelő vonatok összeállítását. Ehhez minden áthaladó vonatonál feljegyeztük a vontatómozdonny típusát, amiből a mozdony tengelytávolságainak és tengelysúlyainak ismeretében a vonatösszeállítást reprodukálni lehetett.

A 100-vonatos mérés adatainak számítógépes értékelésével meghatároztuk a szerkezet vizsgált pontjaiban a tényleges teher hatására ébredő feszültségamplitúdók nagyságait és célszerűen megválasztott értékhatárok közötti előfordulásuk gyakoriságát. A 3. ábra a feszültségváltozások sztochasztikus feldolgozására mutat egy példát.

A 100-vonatos mérést kiegészítettük a Budapest-Ferencváros és Budapest-Kelenföld állomások közötti szakasz 1986. évi és 1987. októberi forgalmi adataival, amelyet a MÁV Számítástechnikai Intézet bocsátott rendelkezésünkre. Az éves adatok alapján a személy- és tehervonatok aránya közel azonos volt a 100-vonatos megfigyelésünkkel.

Feltételezve, hogy a fárasztó igénybevételekre ily módon meghatározott gyakoriságok a jövőben is jellemzőek maradnak, a halmozódó károsodás ismertett elve alapján becslést végeztünk a szerkezet biztonságára, várható élettartamára.

A főtartók károsodása

A főtartóknál a fajlagos teher alapján számított rúdfeszültségeket az egyenlőtlen feszültségeloszlás miatt 1,2-dal, a dinamikus hatás miatt 1,05-dal és a teljes és a hasznos keresztmetszet arányát figyelembevéve 1,205-dal, összesen 1,518-dal megszoroztuk. A károsodás mértékét 50 évre extrapolálva számítottuk a $\Delta\sigma_{f,eng} = 100$ MPa, $N_{\sigma_{f,eng}} = 2 \cdot 10^6$ és $m = 4$ értékekkel jellemzett Wöhler-görbe alapján. Ötven éves korukra a főtartók károsodásának mértéke: $1/\bar{n} = 0,0136$, a biztonság: $\bar{n} = 73,5$, tehát nagyon kedvező. A számítást megismételve megállapítottuk, hogy a déli összekötő híd főtartóinál 100 éves üzemidő alatt sem kell kifáradástól tartani.

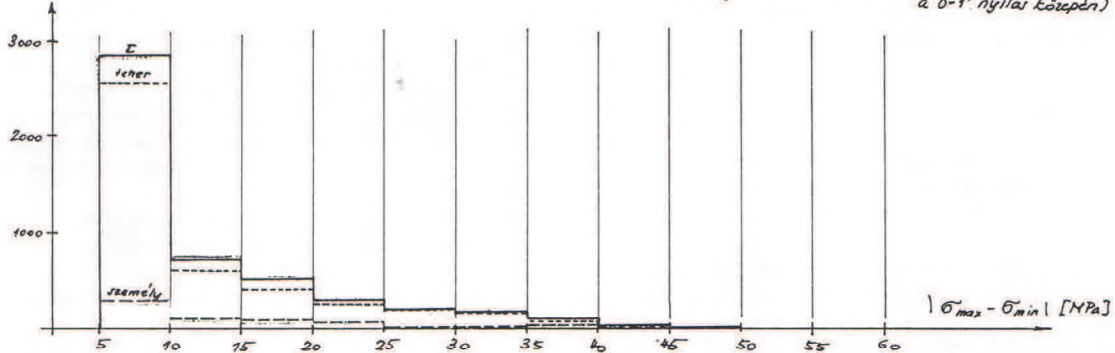
A hossztartók károsodása

A hossztartók károsodásának mértékét ugyancsak 50 évre extrapolálva számítottuk a $\Delta\sigma_{f,eng} = 100, 90$ és 80 MPa, $N_{\sigma_{f,eng}} = 2 \cdot 10^6$ és $m = 4$ értékekkel jellemzett Wöhler-görbék alapján.

Az alsó és a felső övlemez közepén, a két szögcs-cs között mért feszültségfluktuációkat a keresztirányú feszültségváltozás miatt 1,2-dal, a szögcslyukaktól származó feszültségcsúcsok miatt 1,25-dal,

DÉLI ÖSSZEKÖTŐ VASÚTI HÍD, JOBB-VÁGÁNY

feszültségváltozások előfordulása (db)



FORGALOM ALATTI MÉRÉS SZTOCHASZTIKUS FELDOLGOZÁSA

Az 5 MPa-nál nagyobb feszültségváltozások osztályozása
Mérőhely: 115 mérőelem (északi hossztartó alsó övlemez közepe a 0-1' nyílás közepén)

Feszültségváltozások előfordulási száma												db	%	
Személy- vonat	db	201	104	95	58	15	15	22	1	-	-	-	601	11,6
	%	48,4	17,3	15,1	9,7	2,5	2,5	3,6	0,2	-	-	-		
teher- vonat	db	2567	623	432	255	201	168	85	15	3	1	-	4350	84,1
	%	53,0	14,3	9,0	5,9	4,6	3,9	2,0	0,3	0,1	0	-		
Személy teher	db	2858	727	527	313	216	183	107	16	3	1	-	4957	95,7
	%	57,7	14,7	10,6	6,3	4,4	3,7	2,2	0,3	0,1	0	-		
gép- menet	db	110	12	7	21	28	14	10	4	1	-	1	217	4,2
	%	54,8	5,5	3,2	9,7	12,9	6,5	4,6	1,8	0,5	-	0,5		
egyéb vonat	db	4	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	7	0,1
	%	57,1	28,6	14,3	-	-	-	-	-	-	-	-		
Σ összes vonat	db	2081	741	535	334	244	197	177	20	4	1	1	5775	100,0
	%	57,6	14,3	10,3	6,5	3,8	3,8	2,3	0,4	0,1	0	0		

3. ábra A forgalom alatti mérések sztochasztikus feldolgozása. Az 5 MPa-nál nagyobb feszültségváltozások osztályozása. Mérőhely: északi hossztartó alsó övlemez közepe a 0-1' nyílás közepén. 115. mérőelem.

összesen tehát 1,5-del szorozva vettük számításba. A 115. mérőhelyen előforduló igénybevételek sztochasztikus feldolgozásának eredményét szemlélteti a 3. ábra. Az 1986. évi forgalmi adatok és a 100-vonatos mérés adatainak felhasználásával e jellemző mérőhelyen az 50 éves üzemre vonatkozó számítások eredményei a következők:

$$\Delta\sigma_{t,eng} = 100 \text{ MPa esetén a károsodás } 1/\pi = 0,476, \text{ a biztonság } \pi = 2,10,$$

$$= 90 \text{ MPa} = 0,726 = 1,38$$

$$= 80 \text{ MPa} = 1,163 = 0,86.$$

Figyelembe véve, hogy a vizsgálatok a töbtámaszú hossztartó első „fixen” bekötött mezijében végeztük, amely a hossztartó-megszakításnál levő mezőnél kedvezőbb helyzetben van, teljesen indokoltnak látszik az a megállapítás, hogy a hossztartó fáradásra való tönkremenetele a híd 50 éves korában lehetséges. Ezért az ezredfordulóra a teljes hossztartócsere célszerű előkészíteni, ami – tekintettel a két egymás melletti hídra – egy újabb, harmadik híd megépítésével látszik legjobban megoldhatónak.

Az eredmények adaptálása

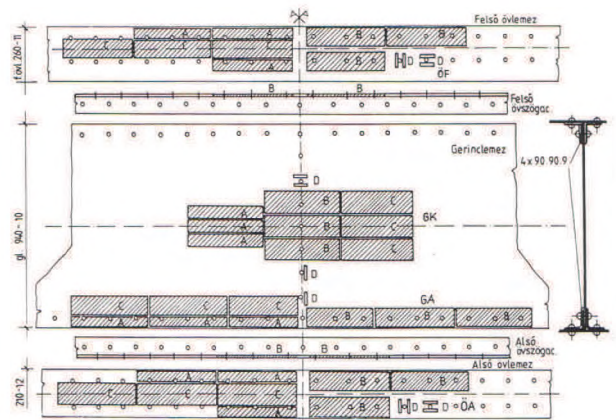
A déli összekötő vasúti hídnál alkalmazott vizsgálati módszerek véleményünk szerint más hidak esetében is jól használhatók, sőt a forgalmi adatok egy-egy vonalon levő több híd esetén transzponálhatók, természetesen a megfelelő tartórendszerre történő számítógépi adaptálás mellett.

A biztonságra vonatkozó megállapításokkal kapcsolatban még feltétlenül meg kell jegyezni, hogy a biztonság számításánál az egyes tényezők (kifáradási jelzőszám, feszültség-növelő tényezők, előélet) felvétele és a forgalmi előbecslések sem teljesen objektívek, így a kapott biztonsági érték nem éles érték, hanem csak tájékoztató jellegű. Ennek megfelelően, amikor a közölt módszerrel megállapított biztonság, az \bar{n} értéke az 1 érték felé tendál, a szerkezet állapotának ellenőrzését

(az esetleges hibák felderítése érdekében) célszerű sűríteni, illetve szigorítani.

A hídból kiemelt hossztartó vizsgálata

A kb. 40 éves üzem után, a déli összekötő vasúti hídból kiemelt hossztartó folytatásból (A. 36.24.12) készült szögcszelt gerinclemezes tartó a 4. ábrán vázolt méretekkal, tehát a felső öv a hídfalekötés miatt szélesebb (aszimmetrikus), mint az alsó, és az alsó öv a tervezett 11 mm helyett mindkét hossztartónál 12 mm vastagsággal



4. ábra Déli összekötő vasúti híd. A próbatestek kivágási terve

készült. A felső öv aszimmetriája a korábban alkalmazott közvetlen hídfa lekötés miatt volt szükséges, de ez a kialakítás az erős hídfakapások miatt nem vált be, és az övlemezek hajtogatására, illetve törésére vezetett. Emiatt a hídfalekötést 1964-ben módosították. A vizsgált hossztartó-megszakításban végződő hosszstartószakasz támaszköze 6305 mm, a kapcsolóelemek Ø 23 mm-es szögecsék voltak.

Vizsgálati program

- A program keretében vizsgáltuk
- a tartó alapanyagának mechanikai statikus, dinamikus és fátadási tulajdonságait, valamint
 - a hossztartó maradék élettartamát szerkezetfárasztással.

A vizsgálatokra a BME Acélszerkezetek Tanszékén került sor, ahol az alapanyag vizsgálatát Mohr-Federhaff-Losenhausen gyártmányú HUS 40 típusú (± 400 kN kapacitású), szervohidraulikus rendszerű, merevállványos pulzátoron, míg a szerkezetvizsgálatot a 12x5 m-es hajlítópádon, MTS rendszerű, 2x250 kN erőt kifejtő, szimultán munkahengerpárral kialakított, mozgatható, szervohidraulikus fárasztóberendezéssel végeztük.

Mintavétel

Az alapanyag vizsgálatához a hossztartó középső, kb. 2 méteres szakaszát használtuk fel. A 4. ábrán vázolt kivágási program alapján kimunkált, típusonként 3-3 próbatestet vizsgáltuk.

A próbatetek helyét úgy igyekeztünk kijelölni, hogy azok eredményeinek összehasonlításából lehetőség nyíljon a különböző üzemi igénybevételek okozta hatások összehasonlítására. Ennek megfelelően:

- az A jelű próbatetek az övlemezek széleiből és a gerinclemez alsó (húzott) széléről vágunk ki oly módon, hogy a szögecselyük széle essék egybe a kimunkált szakítópórbatest megmunkált szélével, kivéve a gerinclemez közepéből kivágott „zavartalan” mintát;
- a B jelű próbateteket úgy vágunk ki, hogy a meglévő szögecselyük a kimunkálendő próbatest tengelyvonalaiba kerüljön és a húzó próbatesteknél kialakított próbatest megmunkált szélessége a szögecselyük háromszorosa legyen;
- a C jelű próbatetek a B jelű próbatetekkel megegyező mérettel készültek, de a gyöngítés nélküli („zavartalan” szakaszon levő) próbatetekbe, a B jelű próbatetekkel való összehasonlítás érdekében, az eredeti szögecselyekkel azonos méretű lyukakat fúrtunk;
- a D jelű próbatetek V-bemetszésű, 10x10 mm-es ütvehajlító próbatetek voltak, amelyeket a hengerlés irányában és arra merőlegesen az övlemezekből és a gerinclemez közepéből, illetve széléről vágunk ki. A Charpy-próbateteket is úgy vágunk ki, hogy a próbatest a korábbi szögecselyük szélére illeszkedjék, kivéve a gerinclemez közepéből kivágott „zavartalan” mintákat.

Az így elkészített próbatetekből egy-egy darabot statikus próbatestként vizsgáltunk, illetve szakítottunk el.

A déli összekötő vasúti hídból kivágott próbatestek alapján az acélszerkezet a gyártáskor érvényben volt A. 36.24.12 anyagminőségnek, – ami a mai MSZ 6280 szerinti A.37 minőséggel összhangban van – a fajlagos ütmunka kivételével, megfelel. Az MSZ 6280 az A 37 jelű anyagra 0 °C-nál minimálisan 27 J ütmunkát ír elő. Ezzel szemben a keresztirányban kivágott próbatesteknél kivétel nélkül, a felső övlemezről hosszirányban kivágott próbatesteknél a legtöbb esetben, a fajlagos ütmunka jelentős mértékben az előírt érték alatt volt. Az igen alacsony ütmunka együtt járt a kontrakció nélkül (rideg), szemcsés töréssel.

Az alapanyag statikus és dinamikus vizsgálata

Az így elkészített próbatetekből egy-egy darabot statikus próbatestként vizsgáltunk, illetve szakítottunk el.

A déli összekötő vasúti hídból kivágott próbatestek alapján az acélszerkezet a gyártáskor érvényben volt A. 36.24.12 anyagminőségnek, – ami a mai MSZ 6280 szerinti A.37 minőséggel összhangban van – a fajlagos ütmunka kivételével, megfelel. Az MSZ 6280 az A 37 jelű anyagra 0 °C-nál minimálisan 27 J ütmunkát ír elő. Ezzel szemben a keresztirányban kivágott próbatesteknél kivétel nélkül, a felső övlemezről hosszirányban kivágott próbatesteknél a legtöbb esetben, a fajlagos ütmunka jelentős mértékben az előírt érték alatt volt. Az igen alacsony ütmunka együtt járt a kontrakció nélkül (rideg), szemcsés töréssel.

A kedvezőtlen ütmunka eredményekkel kapcsolatban két megjegyzés tehető:

- a vizsgált híd gyártásának idején a folytacél csillapítása még nem volt szokásos, és ezért
- a fokozott igénybevétel kapcsán, különösen a szögecselyűk környezetében, alakváltozásos öregedés lép fel és ez az ütmunka csökkenését eredményezi. Ezt a feltevést látszik igazolni az a tény, hogy azoknál a próbatesteknél, amelyek nem a szögecselyűk

környezetéből lettek kivágva, az ütmunka értéke kielégítette a hivatkozott szabványban megjelölt előírásokat.

Az alapanyag fárasztó vizsgálata

A korábban elmondott elveknek megfelelően kiválasztott, illetve megmunkált próbatestekkel, a próbatetek korlátozott száma miatt, úgynevezett lépcsős fárasztó kísérleteket végeztünk annak érdekében, hogy képet kapjunk, a különböző helyekről kivett hasonló próbatestekkel kapott eredmények alapján, az egyes helyeken már bekövetkezett károsodás (előélet) hatásáról, illetve a szerkezetben még meglévő tartalék (túlélés) mértékéről.

Lépcsős fárasztással a már ismertetett halmozódó károsodás elv alapján határozható meg az anyag kifáradási határa.

A lépcsős fárasztás paraméterei az alábbiak voltak:

- kezdőszint az A típusú próbatesteknél: 210 MPa,
- az UIC előírásainak megfelelő: 100 MPa,
- majd: 175 MPa.

- a lépcsők szintjének emelése az összes próbatesteknél 15 MPa,
- az egyes lépcsőkhöz tartozó ismétlési szám: 1.10⁵.

A kísérletek értékelését különböző mértékekkel végeztük, és pedig:

- a Fisher által, hegesztett tartókra javasolt: m = 3
- az UIC előírásainak megfelelő: m = 3,75
- a VH 76 szögecselt tartókra megadott: m = 4
- Maarschalkerwart által szögecselt tartóra javasolt: m = 5

Számítógépes programmal megkerestük az „egyenértékű kifáradási határt” (azt a feszültséglengést, amelynek hatására 2.10⁶ ismétlési számnál a károsodás ugyanakkora, mint a lépcsős fárasztással az egyes feszültséglengés szinteken bekövetkezett károsodások összege).

A számítógépes kiértékelés eredményei közül csak a c = 1, (c szorzótényező arra utal, hogy a próbatest keresztmetszete mentén a feszültségcsúcs hogyan aránylik az átlagfeszültséghez), és m = 4 értékkel kapott egyenértékű kifáradási határ értékeit közöljük az A, B és C jelű próbatestekre az I. táblázatban.

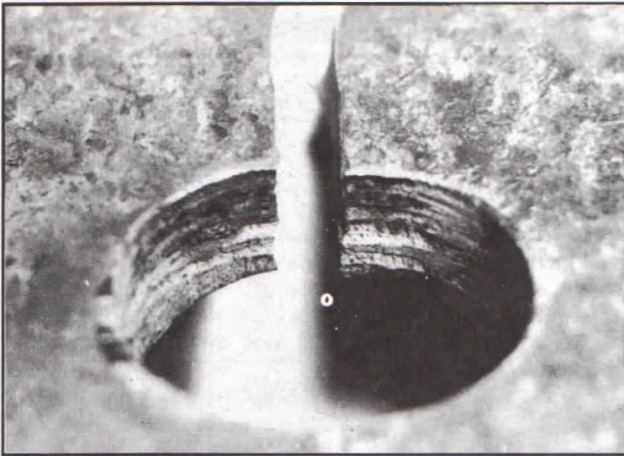
I. táblázat. Az alapanyag kifáradási határa

Próbatest típus	σ_{kf} [N/mm ²]						A/C	C/B	
	A	átlag	B	átlag	C	átlag			
gerinclemez	GA	198,3 199,8	199,05	112,2 129,1	120,65	139,7 142,7	141,2	1,41	1,17
	GK	213,1 205,5	209,3	105,7 100,0	102,85	148,1 147,2	147,65	1,42	1,43
övlemez	ÖA	209,0 191,3	200,15	118,0 124,7	121,35	154,2 148,1	151,10	1,32	1,24
	ÖF	191,1 –	191,1	129,1 108,1	118,6	136,1 126,5	131,3	1,46	1,11

Az eredményekből az alábbi következtetések vonhatók le:

Az A-jelű próbatesteknél kapott és az I. táblázatban közölt eredmények az elhelyezkedésből adódó korábbi igénybevétel különbségét (előélet), ha nem is markánsan, de lényegében tükrözik. A felső övben kapott alacsonyabb értékeket jól magyarázza a kivágott próbatesten, a hídfa korábbi felfekvési felületen kialakult jelentős berágódás. Az eredményeket összegezve azt állapíthatjuk meg, hogy a 200 MPa-os középértékhez képest az összehasonlító kifáradási határ kb. $\pm 5\%$ -kal szór.

A B-jelű, eredeti szögecselyűkkel gyengített próbatesteknél azt a meglepő eredményt kaptuk, hogy a legalacsonyabb „kifáradási határ” a gerinclemez közepéből kivágott egyik próbatestnél mutatkozott. A jelenség okát a GK 3 próbatestcélről készült kép jól magyarázza, (5. ábra) A próbatesten levő lyuk ugyanis rendkívül durva felületű, nagy menetemelkedésű fúrás barázdát mutat (a lyukat nem dörzsölték ki!), és ez a kedvezőtlenebb fáradási viselkedést indokolja. Mivel ilyen technológiai hiba bárhol, tehát fáradás szempontjából kedvezőtlenebb helyen is előfordulhat, ezt a hibát kell a legkedvezőtlenebb helyre

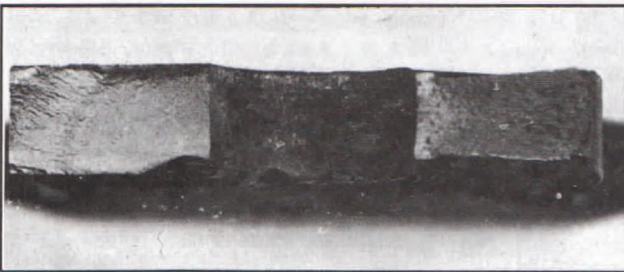


5. ábra Az igen durván forgácsolt szögecslyukfelület

adaptálni és ennek megfelelően kell fáradásra méretezni, illetve ellenőrizni. Hasonlóan kedvezőtlenül csökkentik a fáradási szilárdságot a durva felületi mechanikus vagy eróziós eredetű hibák, (6. ábra).

A gerinclemez alján és az alsó övlemezen kiadódó „kifáradási határ” körülbelül egyforma és az A/B viszony (A-jelű és B-jelű próbatesteken kapott eredmények aránya) mindkét helyen 1,65 körül van. Ez az arány a felső övlemeznél egy kicsit kisebb (1,61), amit a hídja miatti berágódás indokol.

A C-jelű „laboratóriumi” furattal készült, a B-vel azonos méretű próbatesteknél a kifáradás határ a B-hez viszonyítva jóval kedvezőbb,



6. ábra A felületi hibákból kiinduló fáradt törés

amit a C/B viszony is mutat. Ez is mutatja annak fontosságát, hogy a szögecslyukakat előlyukasztás vagy előfúrás után mindig dörzsöléssel kell a névleges méretre hozni.

Összefoglalva: a déli összekötő vasúti híd hosszartójának alapanyagán végzett lépcsős fáradatkísérletek a teli (gyengítetlen) próbapálcáknál 200 MPa \pm 10 MPa egyenértékű kifáradási határt adtak. Ez az érték meglévő szögecslyukkal gyengített próbapálcáknál 40%-os, a laboratóriumban készült szögecslyukkal gyengített próbapálcáknál 25–30%-os csökkenést mutatott. Az irodalom szerint a szögecselt kapcsolat kifáradási határa még ennél is valamivel alacsonyabb, de ennek vizsgálatára most nem volt lehetőségünk.

Külön kell felhívni a figyelmet arra, hogy a gondatlan kivitelezés a 200 MP-os kifáradási határt 100 MPa-ra viheti le és így már minden tartalék biztonság nélkül eljutottunk a VH 76 szabályzatban a szögecselt (lyukasztott) kapcsolatra előírt 10-es fáradási fokozathoz, ($\Delta\sigma_{f,eng} = 100$ MPa).

Ha a fáradási jelzőszámot, mint azt a VH 76 is előírja, a jelentős forgalmi terhelés miatt 2-értékkal csökkentjük, nem irreális a hosszartót $\Delta\sigma_{f,eng} = 80$ MPa-ra ellenőrizni:

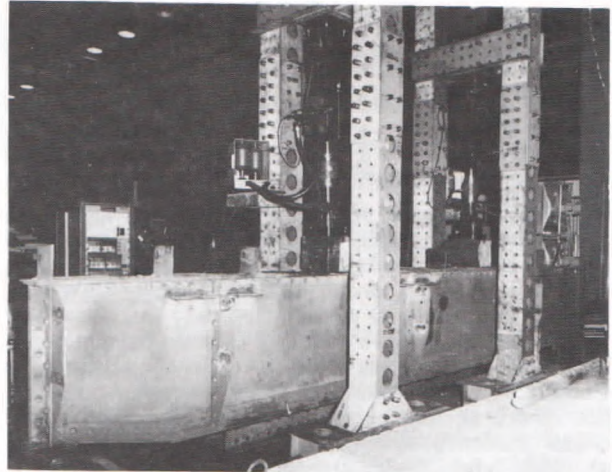
Ez a tény összhangban van a forgalmi adatok felhasználásával végzett számítások alapján tett javaslattal, amely szerint a hosszartók ezredfordulóra való cseréjére fel kell készülni. Ez az időpont a meglévő szögecslyukaknál nyert kedvezőtlen tapasztalatok miatt, csak rendszeres hídvizsgálat és folyamatos fenntartás esetén reális.

Szerkezetfárasztó kísérletek

A déli összekötő vasúti híd másik hosszartóját az eredeti beépítéshez hasonlóan, hajlítót gerendaként vetettük alá fárasztóvizsgálatnak.

A hosszartó-darabot egyik végén egy, a keresztartót helyettesítő, a hajlítópadoz lekötött támasztóbakba kötöttük be NF-csavarakkal, a másik végén pedig görgős megtámasztást alkalmaztunk a tényleges megtámasztással, illetve 6305 mm-es támaszközzel összhangban.

A gerendát a 7. ábrán látható összeállításban, a középhez szimmetrikusan, egymástól 2 m távolságban, hídja darabokon keresztül két, egyenként maximálisan 240 kN kapacitású, MTS gyártmányú szervohidraulikus munkahegerrel terheljük.



7. ábra A déli összekötő vasúti híd hosszartójának szerkezetfárasztása a laboratóriumban

A fárasztókísérletek megkezdése előtt a hosszartó közepén, az alsó és felső övlemezen, az övlemezek élén és a gerinclemez fölött, Pfender-féle mozgatható nyúlásmérővel végzendő nyúlásméréshez 100 mm mérőbázissal, minden teherlépcső előtt és után, nyúlásmérést végeztünk és Simpson szabállyal kiszámítottuk az átlagos övfeszültséget.

A hosszartó lépcsős fárasztását 2x10 kN-os lépcsőkben növeltük. A 2x240 kN-os teherlépcsőig törés nem következett be. A teherlépcsőket, a mért és számított feszültségeket a II. táblázatban közöljük.

II. táblázat. A szerkezetfárasztás közben mért és számított feszültségek

Teher F [kN]	Δn	Felső öv		Alsó öv	
		σ [MPa]			
		mért	számított	mért	számított
2x100	10^5	-33,0	-32,2	34,0	32,6
2x110	10^5	-40,6	-35,4	36,1	35,9
2x120	10^5	-40,0	-38,6	37,6	39,2
2x130	$4,13 \cdot 10^5$	-43,7	-41,9	45,8	42,4
2x140	$2 \cdot 10^5$	-48,8	-45,1	48,4	45,7
2x150	10^5	-52,9	-48,3	54,1	48,9
2x160	10^5	-56,2	-51,5	54,1	52,2
2x170	10^5	-57,9	-54,7	55,6	55,5
2x180	10^5	-62,2	-58,0	59,7	58,7
2x190	10^5	-67,8	-61,2	63,3	62,0
2x200	10^5	-72,5	-64,4	68,5	65,3
2x150	10^5	-48,8	-48,3	50,5	48,9
2x160	10^5	-56,4	-51,5	54,1	52,2
2x170	10^5	-58,3	-54,7	57,2	55,5
2x180	10^5	-62,2	-58,0	59,7	58,7
2x190	10^5	-67,8	-61,2	63,3	62,0
2x200	10^5	-72,5	-64,4	68,5	65,3
2x210	$2 \cdot 10^5$	-74,6	-67,6	71,7	68,5
2x220	$2 \cdot 10^5$	-74,2	-70,8	76,7	71,8
2x230	$2 \cdot 10^5$	-75,3	-74,1	80,3	75,0
2x240	$2 \cdot 10^5$	-83,2	-77,3	85,5	78,3

A terhet a munkahengerek kapacitásának kimerülése miatt tovább növelni nem tudtuk. Az ismétlési szám növelését azért nem láttuk helyesnek, mert a gyártó a munkahengerek használatát, dinamikus üzemmódban, csak 200 kN-ig javasolja. A 2x240 kN-os teher egyébként 2 m távolságban levő 480 kN tengelytehernek felel meg, ami a dinamikus tényező figyelembevételével is nagyon túlzott.

A fázisú kísérletek kiértékelésénél tehát csak arra volt lehetőségünk, hogy egy olyan kifáradási alsó határt állapítsunk meg, amelynél a tényleges kifáradási teher nagyobb, vagy legfeljebb azzal egyenlő.

A kísérleti eredmények feldolgozásánál első lépésként a teherlépcsőknek megfelelően megállapítottuk az igénybevétel-lépcsőket és ezeket $\Delta\sigma$ értékekhez rendeltük. Ezután a déli összekötő vasúti hídon a tényleges forgalom alapján végzett fáradásra ellenőrzések részeredményeinek felhasználásával, az egyes feszültségi szintekhez tartozó ismétlési számokat 40 évré redukálva, meghatároztuk a hosszartók előéletét, majd a kétféle igénybevétel hatását (előélet+fázisú kísérlet) összegeztük.

Mivel a szerkezetre érvényes Wöhler-görbe nem ismert, illetve tényezőinek felvételére nincs egyértelmű előírás vagy tapasztalat, ezért a kiértékelést most is $m = 3, 3,75, 4$ és 5 meredekséggel, $\Delta\sigma_{f,eng} = 80, 90, 100, 110$ és 120 MPa, $N_{\sigma_{f,eng}} = 2.10^6$ értékpárokkal jellemzett Wöhler-görbékkel végeztük vizsgálva a $c = 1,0, 1,2, 1,25$ és $1,5$ helyi csúcsheszültség (maximális feszültség és átlagfeszültség viszonya) eseteket. Az ennek megfelelő feldolgozás eredményei a III. táblázatban láthatók. A táblázatban a kiinduló paraméterek alapulvételével meghatározható biztonság minimumai vannak feltüntetve.

A különböző paraméterekkel kiszámolt biztonság értéke természetesen változik. De az alapanyag fáradási eredményei alapján is, az n biztonság egy közeli értékét becsülhetjük reálisnak. Az értékelést tovább nehezíti az, hogy a szerkezet fáradási viselkedését a helyi anomáliák döntően befolyásolhatják. Ez a hiba (anomália) kerülhet olyan helyre, amely fáradás szempontjából kevésbé érzékeny, de kerülhet olyan helyre is, amely a fáradás szempontjából döntő jelentőségű (maximális feszültségek helye) lehet. Ezt a hibalehetőséget az előírt biztonság növelésével, illetve a fáradási jelzőszám csökkentésével lehetne, illetve lenne célszerű figyelembe venni.

III. táblázat. A hosszartó szerkezetfázisú vizsgálattal becsült biztonsága

$\Delta\sigma_{eng}$	C_1	$m = 3$ n biztonság	$m = 3,75$ n biztonság	$m = 4$ n biztonság	$m = 5$ n biztonság
80	1,0	0,810	1,094	1,219	1,505
90		1,153	1,702	1,952	2,713
100		1,531	2,526	2,975	4,594
110		2,105	3,611	4,356	7,399
120		2,732	5,004	6,170	11,431
80	1,2	0,468	0,552	0,599	0,605
90		0,667	0,859	0,959	1,090
100		0,915	1,275	1,461	1,846
110		1,218	1,823	2,140	2,973
120		1,581	2,526	3,030	4,594
80	1,25	0,415	0,474	0,528	0,403
90		0,590	0,737	0,845	0,889
100		0,810	1,094	1,288	1,505
110		1,078	1,563	1,886	2,424
120		1,399	2,166	2,671	3,746
80	1,5	0,240	0,239	0,241	0,198
90		0,242	0,372	0,386	0,357
100		0,462	0,552	0,588	0,605
110		0,624	0,790	0,861	0,974
120		0,810	1,094	1,219	1,505

Tovább bonyolítja a konkrét kiértékelést az is, hogy a most között egyetlen kísérlet eredménye alapján statisztikus értékelésre nincs lehetőség. Ismét meg kell azt is említeni, hogy a szerkezetfázisú vizsgálat kapott eredményünk tönkremenetel híján csupán olyan minimum, amelynél a tényleges fáradási viselkedés várhatóan kedvezőbb. Így az egyetlen szerkezetvizsgálati kísérlet eredménye alapján: a $\Delta\sigma_{f,eng} = 100$ MPa érték túlzottnak mutatkozik. A korábban másutt is alkalmazott $\Delta\sigma_{f,eng} = 100$ MPa, $m = 4$ és $c_1 = 1,5$ értékek, mint kiinduló paraméterek a hídszerkezetek fáradási vizsgálatánál reálisnak tűnnek, de ezek elfogadását újabb kísérleti eredményekkel kell igazolni.

931 026 071 074-077

HÍREK

A MAGYAR MINŐSÉG TÁRSASÁG II. KÖZGYŰLÉSÉT 1992. november 26-án, a MOM Kultúrházban tartotta. Áttekintették és értékelték eddigi tevékenységüket. Megvitaták a magyar minőségügy helyzetét és az ebből fakadó teendőiket. A Társaságnak már van Ajkán, Debrecenben és Szegeden is szervezete. A közgyűlés módosította az alapszabályt: kibővítették az Igazgató Tanácsot, mely elnökből, három alelnökből és kilenc tagból áll. A tisztviselők mandátuma egy évről két évré nőtt. A tisztújítás eredményeként a **Társaság elnöke: dr. Pázmándi Gyula**, a Corvin Bank vezérigazgatója; **alelnökei: dr. Biacs Péter**, a KEKI főigazgatója, **dr. Hatala Pál**, a KÖFEM Kft. vezérigazgatója, **Lazur Lajos**, a MEEI igazgatója. Elfogadták a Társaság Szervezeti és Működési Szabályzatát, valamint Etikai Szabályzatát. A dokumentumokat a tagok postán kapják meg.

*

A TEXTILIPARI ANYAGVIZSGÁLÓ BERENDEZÉSEK fejlesztésének fő irányiról is képet adtak az ITMA '91 hannoveri és az ATME '92 Greenville-i nemzetközi textilgépiállítások. A technológiaifolyamatok minősítéséhez szükséges vizsgálatok a laboratóriumokból részben a termelőberendezésekre kerülnek lehetővé téve a folyamatba való beavatkozást épp úgy, mint a minőség dokumentálását. Jellemző példaként a fonodai előkészítő gépsoron alkalmazott CIM rendszer anyagvizsgáló moduljai említhetők. A szálanyagok és félkésztermékek fontosabb jellemzőit, például lineáris sűrűség, nagy teljesítményű, automata mérőkészülékek ellenőrzik. Kiemelendő az Uster cég laboratóriumi és technológiai figyelő rendszere. – Az új mérési elvek hasznosítására jó példa a Barco-Automation cég Dancing Sliver nevű készüléke, amely a szálanyagok keresztmetszeti anyagmennyiségét a szálanyagban keltett hanghullámok rezonanciájának mérésével határozza meg. – Bár az ITMA legközelebb 1995-ben kerül megrendezésre Milánóban, de hogy ne maradjunk olyan sokáig információ nélkül, ezért 1993. szeptember 8-12-én „kisítmát” rendeznek **TECHNO TMA '93** néven a bolognai Kiállítási Központban.

„TEXTILTERMÉKEK használati-kezelési útmutatóinak összeállítása” és „A kezelési jelképek és kódcsímkék alkalmazása” címmel sikeres tanfolyamot tartott a Textilipari Műszaki és Tudományos Egyesület 1992 novemberében. A tanfolyam keretében a textilnyersanyagok felismerésének módszereivel ismerkedtek meg a résztvevők. Az TMTE rendszeresen indít ilyen tanfolyamokat (Tel.: 201-87-82).

*

TEACHING AND EDUCATION IN FRACTURE AND FATIGUE szemináriumot a Miskolci Egyetem a Bécsi Műszaki Egyetemmel közösen rendezte 1993. március 12-13-án Miskolcon. Az OMFB támogatásának köszönhetően a hazaiak részvétele díjtalan. **Jelentkezni és érdeklődni** dr. Tórh Lászlónál lehet, 3515 Miskolc-Egyetemváros, Mechanikai Technológia Tanszék, fax: 46 369-554, 46 365-174, 46 311-140.

*

TÜV QS-FACHKRAFT – MINŐSÉGÜGYI MUNKATÁRS – KÉPESÍTÉSÉRŐL SZÓLÓ BIZONYÍTVÁNYT ADTAK ÁT annak a 40 hazai szakembernek, akik Európában elsősorban, a németországi képzéssel egyidőben, sikeresen elvégezték a TÜV Rheinland és a Gépipari Tudományos Egyesület (GTE) közös tanfolyamát. Az ünnepélyes bizonyítványosztást 1992. december 18-án tartották a GTE központjában. A megjelenteket **dr. Rittinger János**, a GTE főtitkára köszöntötte, az esemény jelentőségét **dr. Veress Gábor**, az OMFB elnökhelyettese méltatta. A bizonyítványokat **Andreas-Alois Schindler** úr, a TÜV Akadémia Rheinland (Köln) továbbképzési vezetője adta át. Jelen volt **Eva Dud** asszony, a német gazdaság magyarországi képviselője és **Czitán Gábor** úr, a TÜV Rheinland Hungaria (Budapest) ügyvezető igazgatója. – **Ez évben a GTE folyamatosan szervezi a minőségügy különböző szakterületeire képezést adó tanfolyamokat**, (lásd Eseménynaptár rovatunkat). A tanfolyam előadói a TÜV Rheinland Hungaria Németországban kiképzett és minősített szakértői, valamint a GTE szakértői. **A sikeres vizsgázók a TÜV Akadémia Rheinland által kiállított és regisztrált, a világ minden táján elismert bizonyítványt kapnak.** A TÜV Rheinland hazánkon kívül idén Spanyolországban és Japánban is fog indítani ilyen tanfolyamokat.