

ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS • ÁLLAPOTELLENŐRZÉS



15.évfolyam
3. szám
2005.



ACS



Angela Antoni
INDUSTRIE SpA

MORE THAN TECHNOLOGY

készülékek betonépítmények és -elemek vizsgálatára



PROFOMETER 5
a betonvas helyének és méretének beméréséhez



SCHMIDT-KALAPÁCS
közvetlen leolvasású készülékek a beton keménységének és szilárdságának méréséhez



DIGI-SCHMIDT-KALAPÁCS
elektronikus



CANIN a betonba ágyazott vas korróziójának feltérképezéséhez



RESI ellenállás mérő a korróziós károsodás felderítéséhez



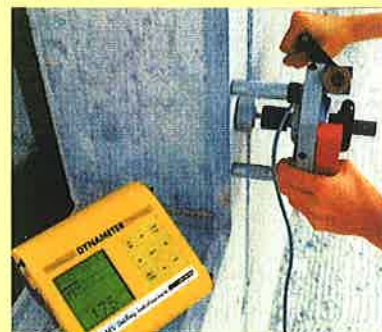
TORRENT permeabilitás mérő a fedő betonréteg minősítéséhez



TICO ultrahang készülék
Repedések, üregek, fagy- és tűzkárok kimutatásához



DYNA kötésvizsgáló kézi készülék a fedőréteg, a bevonat felületi szilárdságának méréséhez



DYNA Z...E kötésvizsgáló elektronikus változatai

Forgalmazza:

TESTOR

www.atestor.hu

06 (1)
06 (30)

319 1 319

ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

Szerkesztőség:

a kiadó **ATESTOR Kft.** címén
1016 Budapest I., Aladár u. 19.

1538 Budapest, Pf. 528.

Telefon: 319-1-319

Telefax: 319-2284

E-mail: info@anyagvizsgaloklapja.hu

info@atestor.hu

Internet: www.atestor.hu

Lapunk az interneten is olvasható:

www.anyagvizsgaloklapja.hu

Felelős szerkesztő:

dr. Lehofer Kornél

A szerkesztőbizottság tagjai:

dr. Borbás Lajos

Eur. Ing. Fücsök Ferenc

dr. Havas István

dr. Koczor Zoltán

dr. Pólos László

dr. Tóth László

Kiadja:

ATESTOR Kft.

Felelős kiadó:

Szappanos György

ügyvezető igazgató

Előfizetési díj a 2005. évre

(1–4. szám): 2.760,- Ft

Előfizethető közvetlenül a kiadónál

a mellékelt, vagy az internetről letölthető
úrlap felhasználásával.

Hirdetések felvétele és kéziratok

leadása az ATESTOR Kft. címén.

Nyomda:

PRINT-HOUSE KFT

Felelős vezető: Fodor Imre

Előkészítés:

PC-Print Bt.

Tel.: 205-6399, 204-3688

E-mail: pcprint@chello.hu

Formaváltás

Lapunk következő, ez év novemberében megjelenő 4. számával lezárul 15. évfolyama. A digitális- és számítástechnika ez idő alatt jelentős fejlődésen ment keresztül, és míg a lapalapítás idején hazánkban a folyóiratok kizárólag nyomtatva jelentek meg, napjainkban már az interneten számos közlemény mellett szakmai folyóiratok is hozzáférhetők.

Lapunk előfizetőinkhez postai úton eljuttatott nyomtatott példányai 2003 nyara óta olvashatók a www.anyagvizsgaloklapja.hu honlapon is, mégpedig a 2003/3. számtól kezdve, negyed éves csúszással, valamennyi lapszámunk, napjainkig. Sőt, ki-ké érdeklődése szerint letöltheti (a fekete-fehéren nyomtatottal ellentétben az eredetileg is színes ábrákkal) a cikkeket, valamint a 15 évfolyam összesített, témák szerint szerkesztett tartalomjegyzékét is, illetve böngészhet a szerzők és témák szerinti kereső programmal. Továbbá egyéb, a lappal kapcsolatos információkat is olvashat, vagy a szakmákat oktatóknak, az oktatói fórumon keresztül, illetve Levél a főszerkesztőnek linken üzenetet is küldhet, (de szerkesztőségünkkel az info@anyagvizsgaloklapja.hu címen is tartható a kapcsolat). Mód van arra is, hogy az érdeklődő, a megfelelő linkre kattintva, közvetlen kapcsolatba lépjen a szakterületünkhöz kötődő cégekkel (így kiadónkkal, az Atestor Kft. honlapjával és internetes műszerboltjával is) és tudományos egyesületekkel (pl.: GTE, Marovisz). Lapunk honlapját, természetesen, rendszeresen frissítjük és karbantartjuk.

Szakmai közösségünk tagjai élnek is lapunk elektronikus lehetőségeivel. Ez napjainkban egyre természetesebb. Egyrészt, mert a munkahelyeken mindenhol, de a szakmákat művelők túlnyomó többségénél otthon is hozzáférhető az internet. Másrészt, mivel – az eredetileg korrek tudományos adatszolgáltatásra kitalált – világhálón szabadon áramló információ-tengerből egyszerűbb olyan honlapokról kiemelni az érdeklődés és hasznosítás igényével információkat, amelyeket a gyakorlatban már kipróbáltak, szakmailag lektoráltak és rendezett formában közölnek. (Ezért vezettük be Internetfigyelő rovatunkat is 2002-ben.)

Az elektronikus információs hálózat növekvő népszerűsége és bővülő lehetőségei a nyomtatott kiadványoknál egyszerűbb, gyorsabb és gazdaságosabb kapcsolattartást tesz lehetővé még a viszonylag kis létszámú civil közösségekkel is.

Hazánkban ilyen az anyagvizsgálók szakmai közössége is, amely viszont kis létszáma ellenére társadalmilag igen fontos és felelősségteljes feladatokat lát el a termékek minőségbiztosítása és a működő ipari berendezések rendszeres állapotellenőrzése terén, és mint ilyen közösség, igényli – bár csak kis példányszámban, de magyar nyelven is – a szakmák sokszínűsége miatt szerteágazó, több szaktudomány folyamatosan bővülő eredményeit hasznosítva fejlődő szakterületünk új ismereteit rendszerezetten közreadó kiadványokat. Ilyen kiadvány – olvasóink véleményeinek rendszeres kérdőíves felmérése nyomán – az Anyagvizsgálók Lapja is, amely szakmai közéletünk szerves részévé vált. [Eddig megjelent példányai megtalálhatók nemcsak a rendszeres előfizetőink könyvtáraiban, hanem elsősorban a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem; Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtár (OMIKK, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 1–3.) folyóírtárában.]

Szerkesztőbizottságunk – a lapalapító kiadónk kezdeményezése nyomán – honlapunk megújításán munkálkodik annak érdekében, hogy érvényesítve az elektronikus információs hálózat előnyös adottságait és megtartva az elmúlt tizenöt év tapasztalataival kiforrott és olvasóink kedvező véleményeivel alátámasztott lapszerkesztési ars poétikánkat, az Anyagvizsgálók Lapja 16. évfolyama már kizárólag elektronikus folyóiratként jelenhessen meg, amelyhez minden érdeklődő hozzájuthat.

Az Anyagvizsgálók Lapja továbbra is lektorált cikkeket, rovatokba szerkesztve (lényegében a honlapunkon most is olvasható nyomtatott változatnak megfelelően, azaz rovatcímes és számozott, a lap web-címével ellátott oldalakra tördelve, pdf formában) közölve, nívós szaklapként fog megjelenni (ISSN nyilvántartási számmal) kielégítve a referálható szaklapokkal szemben támasztott követelményeket.

Terveinkhez kapcsolódó ötleteiket, véleményeiket szívesen vesszük, hiszen változatlanul az a célunk, hogy kielégítsük szakmai közösségünk igényeit. Az elektronikus folyóíratra átállás részleteire következő lapszámunkban visszatérünk.

Szerkesszük együtt, elektronikusan is, az Anyagvizsgálók Lapját!

Lehofer Kornél
felelős szerkesztő

ÁLLAPOTELLENŐRZÉS – CONDITION CONTROL – ZUSTANDSKONTROLLE*TRAMPUS Péter:*

Gondolatok az atomerőműi roncsolásmentes anyagvizsgálat fejlesztése kapcsán

Thoughts about development of NDT for NPW

Denken über Entwicklung des ZfP für KKW 71

GÓLYA András:

Gőzturbina vezetékének törése – nem mindig az anyag a hibás

Fracture of the steam feeding of a turbine – not always the material has a defect

Bruch des Dampfzufuhr von Turbine – nicht immer des Material besitzt eine Fehler 74

HORVÁTH Márton, MÁTRAVÖLGYI Norbert:

Öntöttvas csővezetékek állapotának komplex felmérési módszere

Method of complex condition assessment for the cast-iron pipelines

Komplex Zustandsaufnahme-Methode für der Gußeisen Rohrleitungen 76

VIZSGÁLATI MÓDSZEREK – TESTING METHODS – PRÜFMETHODEN*FODOR Olivér, GILLEMOT László, WEISZ István:*

Egyenes csőves atomerőműi hőcserélők vizsgálata

Investigation of a NPS's heat-exchangers with straight tubes

Prüfung der Wärmetauscheren mit gerade Rohren für KKW 82

CSOLLÁK Zoltán, GILLEMOT László:

Atomerőműi cseppeleválasztó csővégebehegesztéseinek ammóniás szivárgásvizsgálata

Leakage testing with ammonia of welded tube-ends of a NPS's drip catcher

Dichtheitsprüfung mit Ammonium der eingeschweißte Rohrenden von Tropfenfänger für KKW 84

SZABVÁNYOSÍTÁS – STANDARDISATION – NORMEN

Új, nemzeti szabványok – New national standards – Neue National normen 83

KÉSZÜLÉKEK, BERENDEZÉSEK – INSTRUMENTS, EQUIPMENTS – GERÄTE, ANLAGEN*MOHÁCSI Gábor:*

Környezeti hatásokat szimuláló kamrák

Chambers for investigation of the environmental effects

Kammern für Prüfung der Umweltseinflüssen 87

ANYAGOK – MATERIALS – MATERIALEN*DEÁK Tamás, KOVÁCS József Gábor, SZABÓ Jenő Sándor:*

Bazaltszál-erősítésű fröccsöntött poliamid mechanikai tulajdonságainak vizsgálata

Study of mechanical properties of diecast polyamide reinforced by basalt fibre

Prüfung der mechanische Eigenschaften von spritzgegossen Polyamid gestärkt mit Basaltfibern 88

LOVRITY Zita, GÁCSI Zoltán, NAGY P. István, KOVÁCS Jenő, BARKÓCZY Péter:

Frontális polimerizációval előállított kompozit morfológiai vizsgálata

Morphological investigation of the composit produced by frontal polymerisation

Morphologische Prüfung des Komposit herstellen mit Frontpolymerisation 93

GOMBOS Zoltán, VAS László Mihály, GAÁL János:

Gyanta felvételi folyamat vizsgálata és kiértékelése

Study of process of putting resin on

Studierung des Harzaufnahmen-Prozeß 97

SZEMLE – REVIEW – RUNDSCHAU 99**ESEMÉNYNAPTÁR – CALENDAR OF EVENTS – AKTUALITÄTKALENDER 100**

Gondolatok az atomerőműi roncsolásmentes anyagvizsgálat fejlesztése kapcsán*

Trampus Péter¹

Bevezetés

A biztonságos üzemeltetés érdekében az atomerőművek nyomástartó berendezéseit és csővezetékkeit (elsősorban azok hegesztési varratait) időszakosan roncsolásmentes vizsgálatoknak vetik alá, hogy az üzemi igénybevétel hatására keletkező esetleges folytonossági hiányokat és azok változását megfelelő időben megállapítsák. A Paksi Atomerőmű időszakos roncsolásmentes anyagvizsgálati programját a blokkok indításakor érvényes szovjet előírások alapján állították össze. Ez a program az elmúlt két évtizedben folyamatos fejlődésen ment keresztül. A közelmúltban az erőmű az üzemidő hosszabbítási célkitűzéseinek megalapozása, valamint az üzemeltetési engedély kiterjesztésének koncepciójához történő jobb illeszkedés érdekében a program átfogó fejlesztését határozta el. Miután az erőmű a hatósággal egyetértésben az üzemeltetési engedély megújításához már korábban az amerikai nukleáris hatóság szabályozási rendszerének követését határozta el, kézenfekvő volt, hogy az időszakos anyagvizsgálati program átdolgozásának alapjául az Amerikai Gépészmérnökök Egyesülete (*The American Society of Mechanical Engineers, ASME*) által kiadott kazánok és nyomástartó edények szabályzatának (*ASME Boiler & Pressure Vessel Code, ASME BPVC*) vonatkozó kötetei szolgáltak. Az engedélyező hatóság ezzel előzetesen egyetértett, és egyúttal javasolta a kód 2001. évi kiadásának a követését.

A fejlesztés kapcsán felvethető kérdések

Tagja lehettem annak a mérnökgárdának, amelyik ezt a nagyszabású feladatot végrehajtotta, és feladatomból adódóan igen jó áttekintést nyertem a teljes fejlesztési folyamatról. A munka során választ kellett adnunk néhány olyan kérdésre, amely a hazai roncsolásmentes anyagvizsgáló társadalom, valamint a vizsgálati eredmények kiértékelésével (a szerkezeti integritás értékelésével) foglalkozó mérnökök szélesebb körének az érdeklődésére is számot tarthat. Ezek közül a kérdések közül a legfontosabbak talán a következők:

- Alkalmazhatók-e egy amerikai kód 2001. évi kiadásában megfogalmazott műszaki előírások az 1970-es években szovjet szabályzatok alapján tervezett és az 1980-as években, KGST együttműködésben épített Paksi Atomerőmű időszakos roncsolásmentes anyagvizsgálatának a szabályozására, és ha igen, akkor milyen feltételekkel?

- Jelent-e lényeges előrelépést az ASME kód bevezetése a Paksi Atomerőműben folytatott roncsolásmentes anyagvizsgálat eddigi szabályozásához képest?

Gondolataim közreadásának célja az, hogy egyrészt hozzájáruljak e kérdések háttérének a megvilágításához mind a szabályozás, mind a műszaki oldalról megközelítve azokat, másrészt elősegítek az esetleges további gondolkodást a fejlesztő munka még hátralévő részéhez és az ASME alapú időszakos roncsolásmentes vizsgálatok végzéséhez, valamint a vizsgálatok eredményeinek az értékeléséhez.

Az ASME kód alkalmazhatósága

Minden időszakos roncsolásmentes vizsgálati program alapvető része a vizsgálati terv (mit, milyen időközönként és milyen módszerrel kell megvizsgálni?), az elfogadási szint (a vizsgált berendezés további üzemeltethetőségéről vagy javításáról, cseréjéről hozott döntés alapja)

és a vizsgálattechnológia (hogyan kell a vizsgálatot elvégezni?). A Paksi Atomerőmű a teljes vizsgálati program fejlesztését határozta el. A követendőnek kiválasztott *ASME BPVC XI*. kötet [1] tartalmazza az atomerőművekben végrehajtandó időszakos roncsolásmentes vizsgálatok tervére és elfogadási szintjeire vonatkozó követelményeket, az *V*. kötet pedig a roncsolásmentes vizsgálatokkal szemben támasztott követelményeket és a vizsgálatok módszereit [2]. Az *ASME* kód egy amerikai civil mérnökszervezet által készített dokumentum, amely azáltal emelkedett hatósági rangra az Egyesült Államokban, hogy a Szövetségi Nyilvántartás igazgatója jóváhagyta használatát az amerikai hatóság (*United States Nuclear Regulatory Commission, U.S. NRC*) engedélyezési tevékenységét meghatározó, 10 CFR 50 jelű szabályzatban (*Domestic Licensing of Production and Utilisation Facilities*) [3].

Az *ASME* kódot kiadása óta az üzemeltetési tapasztalatok alapján, valamint a műszaki fejlődés eredményeinek a figyelembe vételével folyamatosan fejlesztik, és rendszeresen aktualizálják. A 10 CFR 50 szabályzat úgy rendelkezik, hogy az első, a második és a harmadik biztonsági osztályba² sorolt berendezéseket úgy kell tervezni és kialakítani, hogy elvégezhető legyen az időszakos ellenőrzésük, továbbá ki kell elégíteniük a berendezések gyártásakor hatályos kód *XI*. kötetének az üzemeltetést megelőző ellenőrzésre vonatkozó követelményeit. A berendezések – bizonyos kikötésekkel – megfelelhetnek a kód későbbi kiadásai követelményeinek is. Miután a Paksi Atomerőmű berendezéseit legkésőbb az 1980-as évek során gyártották, ezért az *ASME BPVC* 2001. évi kiadásának az alkalmazása nem kifogásolható. Egyébként az *ASME BPVC* mindkét említett kötetének 2001. évi kiadása a nemzetközi kód alcímet viseli [1, 2].

Az atomerőmű a hatóság előírásának megfelelően elvégzett elemzést, amely összehasonlította a *XI*. kötetnek a nyomástartó berendezések és csővezetékek időszakos anyagvizsgálati programja által közvetve vagy közvetlenül érintett területeit a jelenleg érvényes hazai szabályozással. Ennek az elemzésnek a célja az *ASME BPVC* alkalmazhatóságának az igazolása, illetve az igazoláshoz szükséges esetleges további elemzések kijelölése volt. Az elemzésnek az volt a következtetése, hogy a legtöbb kérdésben, mint például a vizsgálatok terjedelme, a berendezések biztonsági osztályba sorolása, a tulajdonos felelőssége, a vizsgálhatóság, a hivatkozott szabványok, a minősítés, a dokumentáció, nincs érdemi különbség a két előírás rendszer között, vagy a hazai szabályozás elfogadható módon helyettesíti az amerikai előírásokat. Két lényeges kérdésben talált az elemzés olyan mértékű eltérést, ami további mérnöki elemző munkát igényel. Ezek a kérdések: a vizsgálatok ütemezése és az elfogadási szintek.

Az *ASME* kód az anyagvizsgálatok ütemezésére, azaz az egymást követő vizsgálatok közötti időtartam hosszára két lehetőséget kínál. Az egyik javasolt ellenőrzési program időtartamai vizsgálati ciklusról vizsgálati ciklusra nőnek: az első ciklus időtartama 3 év, a másodiké 7 év, a harmadiké 13 év és a negyediké 17 év; a másik vizsgálati program egyforma, 10 éves ciklusidővel számol. Az érvényes hazai szabályozás ezzel szemben a primerköri berendezésekre 4 éves vizsgálati ciklusidőt ír elő. Az elfogadási szintek tekintetében elvi különbség mutatkozik a két szabályozás között abban, hogy amíg az *ASME* kód előírja a talált folytonossági hiányok befoglaló méretének a meghatározását, és a hiányoknak ez a mérete kerül összehasonlításra az elfogadási határértékekkel, addig a hazai szabályozás elfogadási szintje (ultrahangos vizsgálat esetén) a visszhang-amplitúdónak egy vonatkoztatási reflektorról kapott visszhang amplitúdójával történő összehasonlításán alapul.

² Ez gyakorlatilag megegyezik a hazai szabályozásnak megfelelő biztonsági osztályba sorolással.

* A IV. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Konferencián (Eger, 2005. április 12–15.) elhangzott előadás szerkesztett változata.

¹ Dr., a műszaki tudomány kandidátusa; Trampus Műszaki Tanácsadó Betéti Társaság, 2060 Bicske, Zrínyi Miklós u. 20. E-mail: trampusp@trampus.axelero.net

Az ASME BPVC egy egységes kódrendszer, ezért nem meglepő, hogy a XI. kötet alkalmazásának feltétele a kód III. kötetének a létesítési engedély kiadásakor hatályos változatában [4] foglalt követelményeknek való megfelelés³. Az ASME BPVC III. kötet az atomerőművek létesítésének szabályaira vonatkozik. A létesítés fogalmába beleértendő az elemzés, tervezés, gyártás, minőségbiztosítás, felállítás, üzembe helyezés, átalakítás és az üzemeltetést megelőző vizsgálat. A Paksi Atomerőművet az 1970-es és 80-as években érvényes szovjet szabályzatok és az azok által hivatkozott szabványok alapján tervezték. Ezért a XI. kötet alkalmazhatóságának megnyugtató igazolása érdekében a legfontosabb berendezések esetében el kell végezni az eredeti tervezési és szilárdsági ellenőrzési előírások összehasonlítását az ASME BPVC III. kötet előírásaival, sőt egyes kiválasztott berendezések vagy berendezésszekciók esetében nem lehet kizárni a III. kötet szerinti újratervezést sem. Ez a tevékenység előkészítés alatt van, és eredménye választ fog adni mind a vizsgálatok ütemezésének mind az elfogadási szinteknek a kérdésére.

A paksi VVER-440 típusú reaktorok technológiai paraméterei összemérhetők az ASME kód alapján tervezett könnyűvízes atomerőművek hasonló paramétereivel, ami alapján elfogadható az a kijelentés, hogy a VVER-440 atomerőművek nyomástartó berendezései és csövezetékei igénybevétele is összemérhető a könnyűvízes atomerőművek hasonló berendezéseinek az igénybevételével. Ha feltételezzük azt, hogy a szovjet tervezők által választott megoldások egyenértékűek vagy konzervatívabbak az ASME BPVC III. kötetében alkalmazott megoldásoknál, akkor a szovjet és az amerikai tervezési és szilárdsági ellenőrzési előírások közelítő összehasonlításához jó támpontot nyújthat az alkalmazott szerkezeti anyagok szilárdsági és törésmechanikai anyagjellemzőinek az elemzése. Elvégeztem a primerköri főberendezések esetében alkalmazott szovjet és a járatos amerikai szerkezeti anyagok (reaktortartály: 15H2MFA kontra SA 508 Class 3; gőzfejlesztő és térfogat-kiegénylítő tartály köpeny: 22 K kontra SA 533 Grade A Class 1; főkeringtető vezeték: 08H18N10T kontra 316; főgőz vezeték: 20 kontra SA 106 B) általam fellelhető anyagjellemzőinek az összehasonlítását [5–10]. Az összehasonlítás alapján megállapítható volt, hogy a szobahőmérsékleten és a méretezési hőmérsékleten (350°C) megadott hagyományos szilárdsági jellemzők (szakítószilárdság, folyáshatár, A nyúlás, Z kontrakció) általában egymáshoz közeli értékeket vesznek fel. Miután azonban az ASME BPVC XI. kötetének elfogadási szintjeit a berendezésekben az üzemi igénybevétel hatására keletkező repedések stabilitásának a figyelembe vételével határozták meg, ezért a hagyományos mechanikai anyagjellemzőknél nagyobb jelentőségű lehet a törési szívósság értékek, valamint a repedésterjedés megindulási küszöbéhez tartozó feszültségintenzitási tényező amplitúdó értékek összehasonlítása. Ezen anyagjellemzők előzetes (nem szisztematikus) összehasonlítása sem mutat aggodalomra okot adó eltéréseket.

Az ASME kód alkalmazására való áttérés nem az egyedüli eleme az időszakos roncsolásmentes anyagvizsgálat fejlesztésének. Az atomerőmű jelentős erőfeszítéseket tett az elmúlt években a műszakilag lehetséges üzemidőre hatással lévő berendezések szerkezeti anyagai élettartam kimerülési (öregedési) mechanizmusainak megismerése és egy öregedés kezelési program kialakítása érdekében. Ennek a munkának az eredményeként azonosításra kerültek azok a kritikus berendezésszekciók, amelyek vizsgálata – a hosszú távú üzemeltetés szem előtt tartásával – indokoltá vált. Ezek a vizsgálatok is beépítésre kerültek az új anyagvizsgálati programba, és így a tervezés, a gyártás, az üzemeltetés és az üzem közbeni ellenőrzés teljes összhangba került az amerikai gyakorlattal.

Az amerikai és a hazai szabályozás közötti lényeges különbségek

Az előző fejezetben utaltam rá, hogy a jelenleg érvényes hazai

időszakos anyagvizsgálati programban és az ASME BPVC XI. kötetében az elfogadási szintek meghatározása elvileg különbözik egymástól. Az ASME kód V. és XI. kötetében az ultrahangos vizsgálatok értékelése egy vonatkoztatási reflektorral (*Primary Reference Response, PRR*) történő összehasonlítással kezdődik. A vonatkoztatási reflektor keresztirányú hengeres furat (KHF) ill. horony. A kód 1989 előtti kiadása szerint a vonatkoztatási reflektor 50%-át meghaladó amplitúdó nagyság esetén kellett méret meghatározást végezni. Az 1989 utáni kiadások már a PRR értéket 20 %-ára csökkentették ezt az értéket. Ennek az volt az oka, hogy a PISC (*Plate Inspection Steering Committee, később Programme for Inspection of Steel Components*) nemzetközi kutatási program második fázisának eredményei nyilvánvalóvá tették az amplitúdó nagyságon alapuló értékelés megbízhatatlanságát a felületre merőleges síkszerű folytonossági hiányok esetén. Az 1995. évi és azt követő kiadások az értékelés esetében már nem említik a PRR értéket a hangút függvényében reprezentáló ún. DAC-görbe (*Distance-Amplitude-Correction, DAC*) módszert, hanem megkövetelik a minősített eljárást. Az elfogadási szinteket olyan módon fogalmazták meg, hogy azok közvetlenül felhasználhatók a törésmechanikai értékelésekhez. Ezek mögött az elfogadási szintek mögött a műszaki tartalmat a kód III. kötetében foglaltak adják.

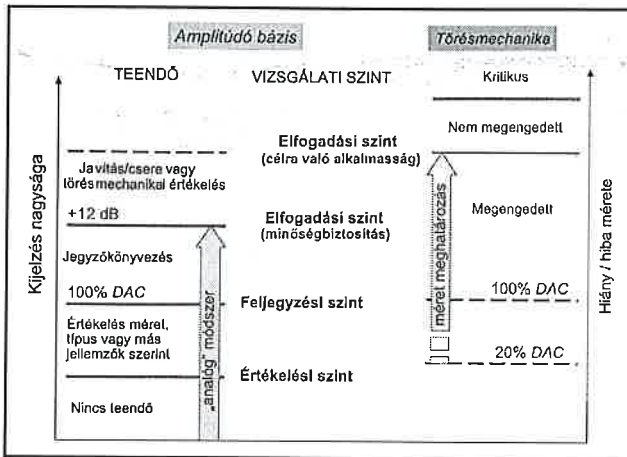
A hazai szabályozásban az ultrahangos vizsgálatok eredményének értékelése a visszhang-amplitúdónak egy vonatkoztatási reflektorról kapott visszhang amplitúdójával történő összehasonlításán alapul. A vonatkoztatási reflektor az esetek többségében egy lapos fenekű hengeres furat, tehát az indikációt egy körtárcsa reflektor (KTR) egyenérték jellemzi. A feljegyzési szint⁴ (értékelési határ, EH) általában megegyezik a gyártóműi elfogadási szintekkel, mert a program kidolgozásának alapja az atomerőműi berendezések és csövezetékek gyártására vonatkozó szovjet ellenőrzési szabályzat hazai környezetre adaptált változata (azaz fordítása) volt [11]. A gyártóműi vizsgálatok elfogadási szintjei eltérnek az üzemelés időszakában talált hiányok értékelésének elfogadási szintjeitől, és alkalmazásuk az időszakos roncsolásmentes anyagvizsgálatok értékelése során túlzott szigorúsághoz vezet. Más hasonló előírásokhoz hasonlóan, az ASME BPVC is megkülönbözteti ezt a két – egymástól eltérő elveken nyugvó – elfogadási szintet.

Az elfogadási szint (analizálási határ, AH) az EH 12 dB-lel megnövelt értéke. Amennyiben a folytonossági hiányról kapott reflexió amplitúdója eléri, vagy meghaladja az AH értéket, akkor a hatóság által jóváhagyott eljárás [12] szerint „analizáló technika alkalmazásával kell a hiány valós, megközelítő méretét meghatározni”. Az eljárás látszólag megegyezik a XI. kötetben az elfogadási szintet meghaladó nagyságú hiányok kezelésére javasolt metodikával és azt sugallja, hogy az AH tulajdonképpen az elfogadási szinttel egyenlő. A megegyezés azonban csak látszólagos. Az AH értéke mögött ugyanis nincs valódi műszaki tartalom, mert AH-nak KTR egyenértékben történő megadási módja nem teszi erre alkalmasá: nem kompatibilis a hiány mérete és elhelyezkedése alapján történő értékelés eszközrendszerével, a törésmechanikával. A hiány mérete meghatározásának ezt a módját „analóg” módszernek is lehet nevezni, szemlélítve ezzel a módszer korlátjait. Amennyiben AH az elfogadási szintet testesítené meg, akkor értékének a törésmechanikai alapokon nyugvó méretezésből kellene kiadódnia, ami viszont kizárná az amplitúdó nagyságban történő megadását. Az analízis technikával elvégzett mérésnek az eredménye képezi a további üzemeltetésre való alkalmasságot eldöntő törésmechanikai értékelés kiinduló adatát. Mindez tulajdonképpen azt jelenti, hogy a jelenlegi hazai szabályozásban nincs az ASME BPVC terminológia szerinti elfogadási szint. A leírtakat az 1. ábra mutatja be.

Ennek a kérdésnek a legvitatottabb része annak az „analóg” szintnek a meghatározása volt, amelynek a túllépése esetén a méret meghatározása szükséges, azaz a törésmechanikai környezetben való

³ Az 1980. évi I. törvény az atomenergiáról – figyelembe véve az erőmű létesítésének az állását – kissé késve teremtette meg a hazai jogrend alapját, amiből következik, hogy a Paksi Atomerőmű egyik blokkjára sem adtak ki létesítési engedélyt.

⁴ A vizsgálati szintekre alkalmazott terminológia megfelel az MSz EN 12062:1999 szabványban használt terminológiának (Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Fémekre vonatkozó általános szabályok). Zárójelben feltüntettem a Pakson meghonosodott kifejezéseket.



1. ábra. Hibanagyság meghatározás: összefüggés a kijelzés nagysága és a hiba mérete között

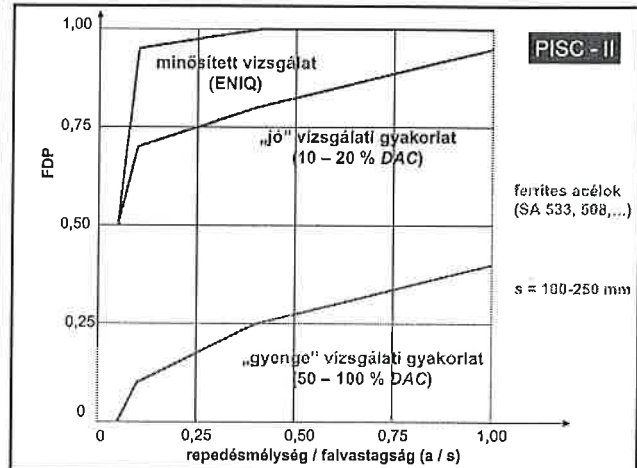
alkalmazhatóságra történő áttérés szintje. A Paksi Atomerőmű illetékei erre vonatkozóan megkértek az üzemidő hosszabbítás műszaki tudományos háttérének támogatására létrehozott szakértői testületek egyikének, a kérdésben illetékes Anyagvizsgálati Szakértői Testületnek⁵ a szakvéleményét. A testület arra az álláspontra helyezkedett, hogy kézi ultrahangos vizsgálatok esetében 50 % DAC érték (AH) felett szükséges a hiány méretének a meghatározása és a méret összehasonlítása a XI. kötet elfogadási szintjével. Gépi vizsgálatok esetében is ugyanez az eljárás követendő, de ezen túlmenően az 50 % DAC érték és az átlagos zajszintet 6 dB-lel meghaladó amplitúdó nagyság közötti tartományban a vizsgált berendezésre vonatkozó technológiának meg kell adnia az ÉH értékét is. Minősített vizsgálat esetében a berendezés vizsgálati technológiájában kell meghatározni az AH értéket úgy, hogy teljesülnie kell az $AH > \text{átlagos zajszint} + 6 \text{ dB}$ feltételnek. A vonatkoztatási szinteket az ASME elvek alapján kell felvenni (KHF alapú PRR meghatározás).

Az állásfoglalás kapcsán érdemes részletesebben megvizsgálni az értékelési eljárás során választott DAC értéket. A PISC program egyik legfontosabb eredménye az volt, hogy kísérleti eredményekkel bizonyította az ultrahangos vizsgálatok megbízhatósági paramétereit [13]. A 2. ábra példaként a reaktortartály ultrahangos vizsgálatára mutatja be a hiány megtalálásának a valószínűségét (Flaw Detection Probability, FDP⁶) a hiány falvastagságra vetített mélységének a függvényében.

A megbízhatósági vizsgálatokat 100 és 250 mm falvastagság tartományú, ferrites szerkezetű (SA 533, 508, ...) acél ellenőrző testek hegesztett kötésein végezték, amelyekben repedésjellegű, valószínű folytonossági hiányokat helyeztek el. A hiányok megközelítőleg merőlegesek voltak a felületre, dőlésük legfeljebb -30° és $+30^\circ$ között volt, mélységük meghaladta a falvastagság 5 %-át (megfeleltek a platírozás alatti repedéseknek). Az ábrán három vizsgálati módszer eredményeit tüntettem fel:

1. Minősített vizsgálat (a minősítés az európai irányelvek szerint történt),
2. Nem minősített vizsgálat, de „jó” vizsgálati gyakorlat (pl. 10 – 20 % DAC),
3. „Gyenge” vizsgálati gyakorlat (pl. 50 – 100 % DAC).

Az FDP-hez hasonló eredményeket mutatnak a hibanagyság meghatározás megbízhatósági paramétere is. Szembetűnő az ábrából az egyes vizsgálati módszerek megbízhatósága közötti igen jelentős különbség. A 2. ábrán bemutatott eredmények jó támpontot nyújthatnak a minősítendő vizsgálatok körének a kijelöléséhez. Az ábra ezen túlmenően felhívja a figyelmet arra a tényre is, hogy mennyire érzékeny a vizsgálat megbízhatósága a méret meghatározás „analóg” szintjének (10 – 20 % vagy 50 – 100 % DAC) az értékére.



2. ábra. Ultrahangos vizsgálat megbízhatósága különböző vizsgálati módszerek esetén

Összegzés

A bevezetésben feltett kérdésekre adott válaszok a következőképpen foglalhatók össze:

1. Az ASME BPVC – mint a Paksi Atomerőmű hátralévő üzemideje során alkalmazandó anyagvizsgálati program alapja – alkalmazásának nincs akadálya. Mind az írott szabályozás, mind a jelenlegi engedélyezési gyakorlat lehetővé teszi ezt, és a hatóság megfelelő műszaki igazolás bemutatása esetén engedélyezni fogja⁷. Műszaki szempontból vizsgálva a kérdést, a jelenleg érvényes hazai és az amerikai (nemzetközi) szabályozás összehasonlítása nem vezetett olyan eredményre, ami kizárná vagy akár megkérdőjelezné az ASME BPVC alkalmazását. A már eddig elkészültek túlmenően szükségesnek ítélt műszaki megalapozó elemzések készítése folyik, eredményeik nem fognak meglepetést okozni. Az ASME BPVC 2001. évi kiadásának a követése minden valószínűség szerint szigorúbb biztonsági követelményeket támaszt az üzemeltetővel szemben, mint az erőmű létesítésének időpontjában érvényes kódé. Az öregedés kezelési program vizsgálati igényeinek beépítése az időszakos anyagvizsgálati programba a hazai és az amerikai gyakorlat teljes összhangját teremti meg.

2. Az időszakos roncsolásmentes anyagvizsgálati program jelenlegi és tervezett programja közötti leglényegesebb eltérésnek az elfogadási szintek törésmechanikai környezetben is értelmezhető megfogalmazása, valamint a vizsgálati ciklusidők megkészszerzése tekinthető. Ezek közül az elfogadási szintek módosításának kérdését elemeztem részletesebben. Az elemzés eredményeként kijelenthető, hogy a törésmechanikai környezettel kompatibilis módon megfogalmazott elfogadási szintekre való áttérés lényeges előrelépés a korábbi, csak „ultrahangos nyelven” megfogalmazott vizsgálati szintekhez képest. Ez hozzá fog járulni úgy a berendezések biztonságának megbízhatóbb értékeléséhez, mint az atomerőmű és a nukleáris biztonság független verifikálásáért felelős hatóság közötti kérdések kiszámíthatóbb rendezéséhez.

Összességében kijelenthető, hogy az időszakos roncsolásmentes anyagvizsgálatok fejlesztése jelentős előrelépés a Paksi Atomerőmű üzemeltetési biztonságának növelése, valamint az üzemidő meghosszabbításának műszaki megalapozása terén.

Hivatkozások

- [1] ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Sect. XI: Rules for

⁵ A testületnek magam is tagja vagyok.

⁶ FDP = a hiányt megtaláló vizsgáló csoportok száma / a vizsgálatot végző vizsgáló csoportok száma.

⁷ Az ASME BPVC XI. kötete előírásainak átvétele szovjet tervezésű atomerőmű esetében nem példa nélküli, a Finnországban üzemelő VVER-440 reaktorok esetében évek óta sikeresen alkalmazzák.

Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components, 2001 edition, New York.

- [2] ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Sect. V: *Nondestructive Examinations*, 2001 edition, New York.
- [3] 10 CFR 50: *Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities*. U.S. NRC, 1996, Washington, DC.
- [4] ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Sect. III: *Nuclear Power Plant Components*, 2001 edition, New York.
- [5] PNAE G-7-002-86: *Strength Calculations for Components and Pipelines of Nuclear Power Installations*. 1990, Energoatomizdat, Moscow.
- [6] L. M. Davies: A comparison of Western and Eastern nuclear reactor pressure vessel steels. *Pressure Vessel and Piping* 76, 1999, p. 163-208.
- [7] V. N. Shah and P. E. Macdonald (eds.): *Ageing and life extension of major light water reactor components*. 1993, Elsevier.

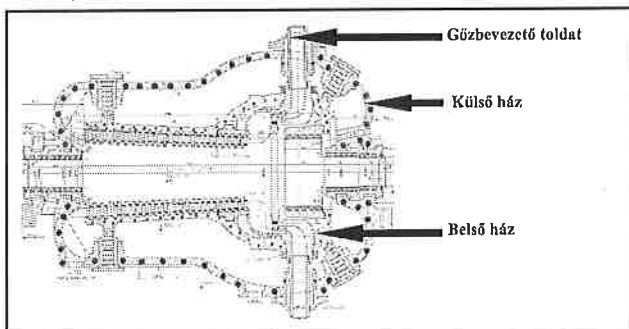
- [8] *Metals Handbook, Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*. Vol. 1. 1990, ASM International, Metals Park, Ohio.
- [9] TECDOC-1361: *Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety, Primary Piping in PWRs*. 2003, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- [10] W. Marshall: *An Assessment of the Integrity of PWR Pressure Vessels*. Second Report by a Study Group, 1982, UKAEA, Harwell, Oxfordshire, UK.
- [11] *Atomerőművi szerkezetek hegesztésének ellenőrzési szabályzata*. ABSz 6. kötet, ÁEEF, 1979, Budapest.
- [12] *Kritériumgyűjtemény roncsolásmentes anyagvizsgálatokhoz*, PA Rt. AVO, 2003.
- [13] *Summary of the Three Phases of the PISC Programme*. 1992, PISC-Report No. 17.

Gőzturbina vezetékének törése – Nem mindig az anyag a hibás*

Gólya András**

Az alaphelyzet ismertetése

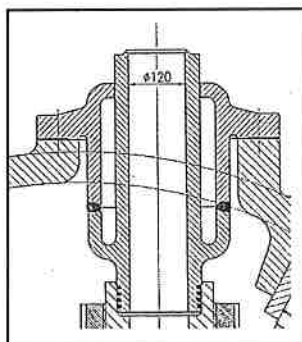
Egy hazai erőmű egyik blokkja nagyjavításának (retrofit) munkálatai során szétszerelték a gőzturbinát is. A szétszereléskor kiderült, hogy a nagynyomású és a közepnyomású külső és belső turbinaházakba is illeszkedő gőzbevezető toldat (1. ábra) végén található tömítőgyűrűknél (2. ábra) a toldat eltört. Elsősorban az anyaghiba vetődött fel, mint lehetséges ok.



1. ábra. Nagynyomású turbinaház

A töretfelület vizsgálata azonban nem utalt anyaghibára, tipikus fáradásos törés jeleit mutatta, így más irányban kerestük a megoldást. Mivel a külső és a belső ház egymáshoz képesti elmozdulása önmagában nem képes ekkora erőt kifejteni, arra kezdtünk gyanakodni, hogy a gőzbevezető toldat befeszülhetett és ez vezetett a fáradásos töréshez. A befeszülés geometriai problémák következménye, így felvetődött, hogy érdemes lenne a házak geometriáját és elhelyezkedésüket megvizsgálni. A turbinaházak ugyanis jelentős (kb. 600 °C) hőhatásnak vannak kitéve működésük során. Ez a ház „szétnyílásához” vezethet.

Ha a ház „szétnyílik”, ez azt jelenti, hogy a ház egésze, minimális mértékben ugyan, de deformálódik (3. ábra). A nagyjavítás során a tur-



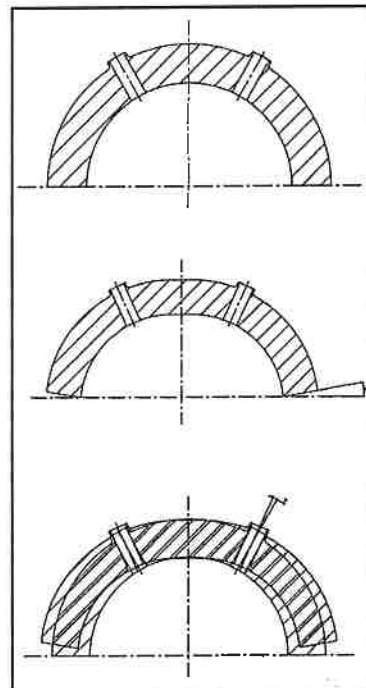
2. ábra. A gőzbevezető toldat

binaház osztósíkját átmunkálják, tehát az itt keletkezett szöghibát kiküszöbölik, de a ház egyéb részeinél, például ahol a gőzbevezető toldat illeszkedik, ez a deformáció megmarad. Több nagyjavítási ciklus után ez a deformáció már olyan méreteket ölthet, hogy az említett gőzbevezető toldat, amely a külső és a belső házhoz is kapcsolódik, illesztése gondot okoz.

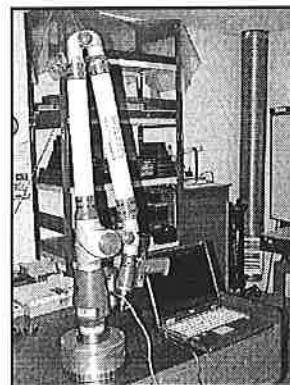
Az elmélet igazolásához azonban a hagyományos mérőeszközök segítségével nem lett volna érdemes nekiállni, hiszen csak túlságosan közvetett, bonyolult módszerekkel tudtuk volna megmérni. Így azonban már olyan mértékű hibát vittünk volna a mérésbe, hogy gyakorlatilag értékelhetetlen eredményt kaptunk volna. A hordozható koordináta mérő gép segítségével viszont ez egy rendkívül egyszerű feladattá vált.

A hordozható koordinátamérő-gépről

A hordozható koordinátamérő-gép legfontosabb különbsége a telepítettéhez képest az, hogy a mérőfeje nem x, y, és z irányú egyenes vonalú pályán mozog, hanem egy csuklókkal ellátott mérőkarral (4. ábra). Ebből következik, hogy nem elmozdulást mér alapvetően, hanem szögeket. Optikai úton meg-



3. ábra. A turbinaház szétnyílása

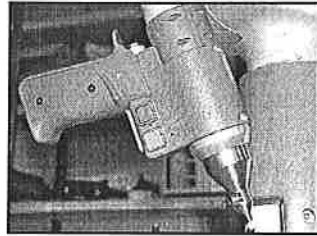


4. ábra. Hordozható koordinátamérő-gép

* Lásd a 71. oldalon!

** ALSTROM Power Hungária Rt.

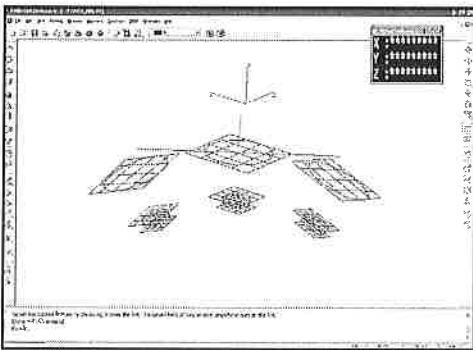
tudja állapítani, hogy az egyes csuklók hogy állnak, és ezek alapján pedig, hogy hol van a mérőfej. A felületet – a telepített mérőgépekhez hasonlóan – gömb alakú mérőfej tapogatja le (5. ábra). A mérés megkezdése előtt meg kell adni, hogy milyen geometriai idomot fogunk mérni (síkot, kört, hengert stb.) majd a pontok felvétele után a szoftver megkeresi a pontokra legjobban illeszkedő adott geometriai formát. Az említettekben jól látható, hogy a hordozhatóság oltárán áldozott pontosság csökkenésért cserébe egy szabadabb mozgásteret is kapunk.



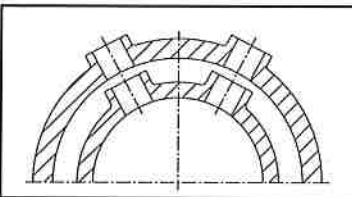
5. ábra. A mérőfej

A vizsgálat végrehajtása

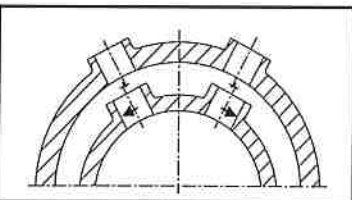
Az előkészületek egyetlen időigényes része, hogy a külső és belső turbinaházat össze kellett szerelni. Ezután a gőzbevezető toldat illeszkedési helyein a külső és a belső turbinaházon is síkok, illetve furatközéppontok felvételével egy olyan háromdimenziós CAD rajzot kaptunk (6. ábra), amelyen már könnyűszerrel ellenőrizhető az egyes beömlési helyeknél szögeltérésének a mértéke, illetve a középpontok esetleges eltérései a külső és a belső ház között.



6. ábra. A mérési eredmény 3D CAD modellje



7. ábra. A külső és a belső ház furatainak egytengelyűsége



8. ábra. Az osztósík eltérő mértékű lemmunkálásának „eredménye”

hatható négyzet-hálós síkok a gőzbevezető toldat külső házhoz való illeszkedésének síkjai. Az ezeken a síkokon látható kisebb körök mutatják azoknak a furatoknak a helyeit, ahol a toldatot a külső házhoz rögzítik. Ezeknek a köröknek középpontjaira szerkesztett osztókör, pontosabban az osztókör középpontján keresztülménő tengely az, ami a toldat helyzetét mutatja. Mivel a belső házhoz nem síkon illeszkedik a ház, hanem hengeres felületen, ezért ott az ábrán (eredetileg lila színben) látható hengerek tengelyei a fontosak, ezek mutatják meg a gőzbevezető toldat pozícióját. Ezen két tengely felvétele volt fontos minden egyes gőzbevezetési helyen, hiszen ezek egymáshoz képesti pozíciója adja meg a választ a kérdéseinkre.

Az eredmények értékelése, következtetések

A mérési eredmények tanúsága szerint vagy egyáltalán nem, vagy csak nagyon minimális mértékben nyíltak szét a házak. A furatközéppontok eltérése viszont arra engedett következtetni, hogy a külső illetve a belső házakból az osztósík átszabályozásakor nem azonos mértékben munkáltak le, és emiatt tolódtak el egymáshoz képest (1. táblázat).

A furatközéppontok eltérése némi magyarázatra szorul. A külső és

belső házhoz a gőzbevezető toldat részére kialakított furatok, ha a rajz szerint végezték, egytengelyűek (7. ábra). Ha azonban átszabályozásakor az egyik házból többet munkáltak le, akkor az ezen található furat tengelye a turbina forgórészére nézve radiális irányban eltolódik a másik házhoz található furat tengelyéhez képest (8. ábra). Ezen két tengely közötti távolság értékei láthatóak az 1. táblázat „Eltérés” sorában. Az alatta levő sorban látható vektorokat úgy vettem fel, hogy minden esetben az áramlás irányából nézve a külső házhoz található furat tengelyétől mutat a belső ház furatának tengelye felé.

1. táblázat. A középnymású ház mérési eredményei

	KöNy felső fél		KöNy alsó fél	
	Bal	Jobb	Bal	Jobb
Eltérés	1,68 mm	0,73 mm	1,18 mm	2,03 mm
Irány				
Szögeltérés	0,22°	0,15°	0,24°	0,17°

A vektorok iránya jól láthatóan arra utal, hogy a középnymású külső házból munkáltak le többet korábban. Érdekes és nehezen magyarázható azonban, hogy a felső fél esetében miért csak a bal oldalon tolódtak el egymáshoz képest a tengelyek. A jobb oldalon mért 0,73 mm-es eltérés ugyanis túl kicsi ahhoz, hogy hibára utaljon. Valószínűleg a ház bal oldalán többet munkáltak le, mint a jobb oldalán.

Más eredményre jutottunk a nagynymású turbinaház alsó felénél, hiszen itt axiális irányú eltérést találtunk. Ez nem magyarázható az előbb említett módon, és szintén nem okozhatta a kezdeti hipotézisünk, azaz a szétnyílás. A turbinaház működése során ugyan éri axiális irányú erő, de elképzelhetetlen, hogy ez ekkora geometriai torzulást eredményezzen. Nagy valószínűséggel a ház gyártása során keletkezett geometriai hiba okozta ezért (2. táblázat).

2. táblázat. A nagynymású ház mérési eredményei

	Nny felső fél			Nny alsó fél		
	Bal	Közép	Jobb	Bal	Közép	Jobb
Eltérés	0,13 mm	0,58 mm	0,57 mm	2,43 mm	1,28 mm	3,12 mm
Irány						
Szögeltérés	0°	0°	0,08°	0,13°	0,11°	0,14°

Mindent egybevetve gyors és hatékony vizsgálattal fény derült a hiba okára, és beigazoltuk, hogy nem anyaghibáról van szó. A mérés gyorsaságának fontosságát azért kell hangsúlyozni, mert ha geometriailag rendben lettek volna a házak, akkor a hiba okának keresésében ez egy holtág, azaz veszteségidő, amely a javítási munkálatok határidejének tartása miatt nem mellékes tényező.

A hibák mértékének és irányának ismeretében orvosolhatóvá tettük a problémát, és a megfelelő mértékben módosított tömítőgyűrűk már lehetővé teszik a gép, pontosabban a gőzbevezető toldat törésmentes üzemelését.

Összefoglalva, a hordozható koordinátamérő-géppel könnyen elvégezhető mérések alapján megállapítottuk, hogy

- a mindkét házhoz mért szögeltérések elhanyagolható mértékűek;
- a középnymású háznál a radiális irányú eltérések a külső és a belső ház osztósíkainak eltérő mértékű lemmunkálásából származnak;
- a nagynymású háznál az axiális irányú eltérések oka viszont máshol keresendő => eredeti gyártási hiba.

A mérések eredményei egyrészt alátámasztották a töretvizsgálat eredményét: azaz, hogy a gőzbevezető toldatok tömítőgyűrű végeinek törése nem anyaghiba következménye volt; másrészt – elkerülendő a törések ismétlődését – a geometriai hibák mértékének és irányának ismeretében megfelelő mértékben módosíthatók a gőzbevezető toldatok tömítőgyűrű végei.

Öntöttvas csővezetékek állapotának komplex felmérési módszere

Horváth Márton – Mátravölgyi Norbert*

Bevezetés

Az öntöttvas kétszáz éve a víz- és szennyvízhálózatok kedvelt anyaga. Elterjedtségét indokolja a hosszú évek alatt kialakult, kedvező fektetési technológiája és korrózióállósága. Vízvezeték anyagaként 1455-től használják (Dillenberg-kastély). Franciaországban 1664 és 1688 között 7,9 km hosszú vízvezetékét építettek öntöttvasból (Versailles). Állítólag mindkét rendszer jelenleg is üzemel. Az első, viszonylag nagy falvastagságú és így nagy korróziós ráhagyással tervezett öntöttvas vízvezeték-hálózat 1804-ben, az Egyesült Államokban (Philadelphia) épült. A XIX. század végén Angliában és Magyarországon (kezdetben Angliában öntött csövekkel) is épültek vízvezetékrendszerek. Egy részük ma már több mint százéves és még mindig üzemel. A csövek külső felületét vékony kátrányos bevonattal védtek a talajkorróziótól. 1920-tól elterjedt a cementhabarcsos bevonat alkalmazása is. 1902-től Angliában jelentek meg előírások, követelmények az öntöttvas csövekkel kapcsolatban. Megállapították, hogy a talaj minőségének (laza, agyagos, lúgos stb.) döntő szerepe van a korrózió szempontjából [1].

Öntöttvasnak az 1,7%-nál nagyobb széntartalmú nyersvasból, általában átolvasztással készített vasöntvényeket nevezzük. Az öntöttvas állandó ötvözőelemei közül fontos szerepe van a szénnek, szilíciumnak és a foszfornak. Ezek befolyásolják a szövetszerkezetét és döntő szerepük lehet az ötvözetben lévő szén megjelenési formájára. Ez lehet grafit, vagy karbid; a grafit lehet durva vagy finom, lemezes vagy gömb alakú. Az öntöttvas tulajdonságait döntően szövetszerkezete határozza meg. Korrózióállósága jobb, mint a szénacélé. A szövetszerkezet szerint megkülönböztetünk karbidos vagy fehér, perlités és ferrites öntöttvasat.

A gyakorlatban régóta ismert, hogy a homokba öntött csöveken kialakuló öntési kéreg korróziós szempontból kedvező hatása. Az öntési kéreg részben vas-szilikátokból, részben oxidokból áll. Célszerű tehát arra törekedni, hogy öntvénytisztításkor az öntési kéreg ne szakadjon meg. Az öntöttvas hőkezelése általában növeli a korrózióállóságot. A temperöntvények korróziós tulajdonsága kedvezőbb. Ez a tiszta ferrites kéreggel is magyarázható. A gyakorlatban használatos, különleges kezelés nélküli öntöttvasak 2,5–3,5% szén tartalmazznak, a grafit formája lemezes, a töret színe alapján szürke vasöntvénynek is nevezzük. A vízvezetékek csöveit évtizedekig ilyen anyagból készítették. Ma már inkább a nagyobb szilárdságú, gömbgrafitos (göv) csöveket fektetik.

A szürke vasöntvények korrózióállósága nemcsak a kémiai összetételtől, a szövetszerkezettől, a grafit alakjától, az öntvények tömörségétől, hanem a korrodáló környezet kémiai jellegétől, mikroorganizmusok, kóboráramok jelenlététől és az üzemeltetés körülményeitől is jelentősen függ. A legnagyobb bajt a helyi, véletlenszerű, szelektív korrózió okozhatja, amelynek eredményeként egyes helyeken az anyag fémes folytonossága megszűnik, és teljesen elveszíti a szilárdságát.

A szürke vasöntvények rozsdásodással szemben jobban ellenállnak, mint az ötvözetlen acélok. Korrózióállóságuk természetes és vízvezeték-vizekben kielégítő, 0,025–0,15 mm/év. Tengervízben gyorsabban korrodálnak. Normál, semleges kémhatású, kóborárammentes, kedvező talajviszonyok mellett az öntöttvas csövek élettartama 100–200 évet is elérhet [1]. Normál talajban az átlagos korrózió 0,050 mm/év. A legmélyebb korrózió mélyülési sebessége 0,375 mm/év, ha a talaj minimális fajlagos ellenállása nagyobb 10 $\Omega \cdot m$. Az 1. táblázatban 10 éves megfigyelési adatok alapján sorolták be a talajokat [2].

A régóta talajban fekvő öntöttvas csöveken jellegzetes, szelektív korrózióját figyelték meg, amely a grafitlemezek mentén elhelyezkedő fémes fázisban indul meg és hatol be az öntvény belsejébe. A fémes fázis elfogy a grafitlemezek mellől, üreg képződik, amelyet szivacsos szerkezetű, nemfémes maradványok töltenek ki. Az öntvény megtartja

alakját, méretét, de helyenként elveszíti fémes jellegét és a szilárdsága minimálisra csökken. Átlagos körülmények között ez a fajta korrózió lassú, amit galvánáramok gyorsíthatnak. A

I. táblázat. A talaj korróziós minősítése

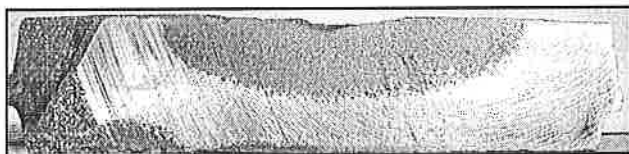
A talaj minimális fajlagos ellenállása, $\Omega \cdot m$	Mélyülési sebesség, mm/év
> 10	0,375
5–10	0,500
2–5	0,750
< 2	1–1,125

szürke vasöntvények szövetszerkezete több fázisból áll (ferrit, cementit, grafit, foszfid és nemfémes zárványok), ezért fennáll a lehetőség az elektrokémiai kioldódásra, a szelektív korrózióra. Az öntöttvas és az elektrolit (oldat) között, a grafit és a vas, a perlit és a foszfid-eutektikum között feszültség léphet fel. A grafit a vashoz képest katódiként viselkedik és nagy áramsűrűségű korróziós cellát alkot. Ennek hatására vas kationok keletkeznek.

A jelenség elnevezését 1990 óta az ISO MSZ szabvány precízen szabályozza, ennek ellenére a hazai és nemzetközi szakirodalomban a „grafitosodás” szóhasználat a szokásos, noha kifejezőbb a „vastalanodás” használata, hiszen a vas oldódik ki az öntöttvasból.

Az öntöttvas vízvezetékcsövekben a vastalanodás akkor jelentkezik és gyorsul fel, ha a csövek hosszú ideig szennyezett (kloridos, szulfidos), változó nedvességű, kóborárammal terhelt talajban vannak. A nagy bajt okozó katasztrofális törésekre akkor kerül sor, ha egyéb tényezők (megváltozó terhelés, állandó, vagy véletlenszerű rezgés, lökés, ütés stb.) hatására a vastalanodott, kis szilárdságú, rideg anyag repedése és a gyors repedésterjedés bekövetkezik. A „faragható” szilárdságú réteg barnásfekete színű, fémes jellegét elvesztette (1. ábra). A korrózióban jelentős szerepe van a kóboráramoknak.

A cső belső felületén (az ivóvíz oldalán) a vastalanodás általában (de nem minden esetben) kisebb mértékű. Ilyen foltok keletkeznek klorid-ionok és oldott oxigén jelenlétében, vagy levegő/víz határfelületeken.



1. ábra. Vastalanodás csődarabon

A falvastagság vizsgálata

Az ivóvízhálózatokon sok régi, esetenként több mint százéves, nagy átmérőjű vezeték üzemel, melyek gyakran szűk utcák, vagy főközlekedési útvonalak, vasutak alatt fektetve látják el a városok, települések kerületeit ivóvízzel. Ezek állapota, működése, esetleges meghibásodása befolyásolhatja mindennapi életünket, az üzemeltető vízművek üzemmenetét és lakossági megítélését.

Munkánk során a budapesti ivóvíz-fővezetékek állapotát roncsolásmentes módszerrel vizsgáltuk. A csővizsgálatokat feltárt munkagödörökben, a csővezeték megbontása nélkül és annak folyamatos üzemelése közben végeztük. A munkagödör helyének kijelölését, kialakítását a Fővárosi Vízművek végezte. Az eddigi méréseknél a vízművek főleg öntöttvas csöveket tárt fel, esetenként az éppen bekövetkezett csőtörések helyszínén. Tisztában vagyunk azzal, hogy a több kilométeres csőhálózat egy-egy méteres mintázása hordoz bizonytalanságot. Értékelésünk minden esetben erre a kis szakaszra vonatkozik, de bízunk abban, hogy az óvatos általánosítás a Fővárosi Vízművek és a szakértők tapasztalatai alapján megengedett.

A vizsgálatok alapján a csőszakaszokat minősítettük. Mivel a csövek

* A VEKOR Kft., Veszprém, munkatársai

kijelölése nem véletlenszerű volt, hanem a rehabilitációra már figyelembe vett szakaszokra koncentrált, nem meglepő, hogy sok a kritikusnak minősített helyszín.

Első lépésként mértük a csőszakasz ép fémrétegének vastagságát. Az általunk használt mérési eljárás nagy előnye, hogy a fémcső (acél, öntöttvas, korrózióálló acél, réz- vagy alumíniumcső) falának szövet szerkezeti elváltozását, falának vékonyodását, gyengülését, vagy kezdődő, esetleg már meglévő korróziós lyukadását, eróziós károsodását jelzi, így előrejelzést ad a vizsgált csőszakasz gyenge pontjaira. Az előrejelzés lényege, hogy segítségével elkerüljük a vezetékek törésekor jelentkező, sokszor katasztrófa közeli helyzetet. Így a csővezeték öreg, de jó állapotú szakaszait a gazdálkodó szervezetek nem cserélik ki feleslegesen, és a pénzügyi forrásokat a leggazdaságosabban, csak a valóban tönkrement részek rekonstrukciójára fordíthatják.

A mérés elmélete, elve

Mágnesezhető anyagokra a mérési eljárás alapelve már régóta ismert, röviden MFL néven említik a szakirodalomban (Magnetic Flux Leakage – mágneses fluxus veszteség). A mágneses fluxus az egysegnyi felületen áthaladó mágneses erővonalak számát jelenti. Ha egy mágneset helyezünk egy mágnesezhető anyag közelébe, akkor a mágneses erővonalak áthaladnak a mágnesezhető anyagon is. Az ilyen anyag vastagsága meghatározza az áthaladó mágneses mező nagyságát. Az érzékelők a mágneses fluxust mérik.

A mérés alatt a szenzor és a vizsgált felület maximális távolsága 6 mm lehet. Ha a távolság ennél nagyobb, az eljárás az anyagra vonatkozóan nem ad értékelhető információt, mert a távolság hatása a mágneses fluxusra nagyobb, mint az anyag vastagságából, vagy a falvastagsága megváltozásából következő hatás. A 15–20 mm, vagy annál nagyobb vastagságú anyagoknál a fluxus ráadásul „telitődik”, és a falvastagság-változás nem lesz mérhető. Ezért a standard MFL eljárás 10 mm-nél vastagabb anyagok esetén korlátozottan alkalmazható. Hogy a problémákat tovább szaporítsuk, az öntöttvas – tulajdonságainál fogva – másképp viselkedik, mint az acél, és ezért annak detektálása MFL-eljárással nem egyszerű feladat.

Az ausztrál Rock Solid cég által kifejlesztett BEM-módszer (Broadband Electro Magnetics: szélessávú elektromágneses eljárás) az MFL-eljárás gyengeségeit küszöböli ki. Alapvető a különbség az alkalmazott vizsgálati frekvenciákban, de sajnos a részletesebb technológiai ismertetésre nincs lehetőség, mert a szabadalom tulajdonosa ennél többet nem árult el az eljárásról [3]. Sikeresen alkalmazták már 100 mm vastag anyag mérésére is, és akár 80 mm vastag szigetelésen keresztül is használható. Ebben az esetben az a lényeges, hogy a detektált anyagtól állandó legyen a távolság. Vagyis a felületet meg kell tisztítani, de a korróziós egyenetlenség nem zavaró.

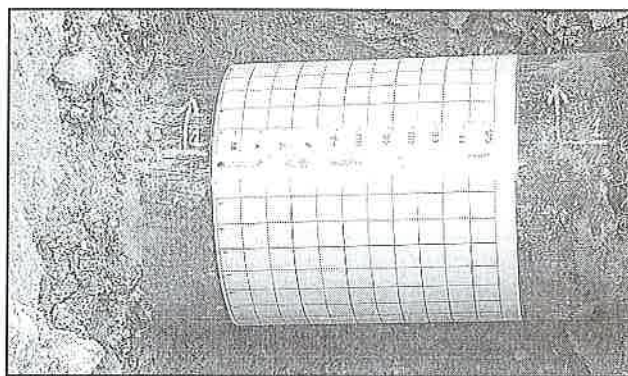
A BEM-módszert a vizsgálatok megkezdése előtt egy öntöttvas csőtöröten kalibráltuk. Egy vonal mentén, ElektroPhysik gyártmányú, Minitest 4100 készülékkel, a „VEKOR-módszerrel” [4], mindkét oldalról mértük a vastalanodás mértékét. Ez után ugyanezen a vonalon a 10 mm átmérőjű BEM-antennával is mértük az ép öntöttvas réteg vastagságát (II. táblázat). Megállapítottuk, hogy az ép falvastagságot a BEM-módszerrel átlagosan 1 mm pontossággal mérni tudjuk.

A mérés gyakorlata

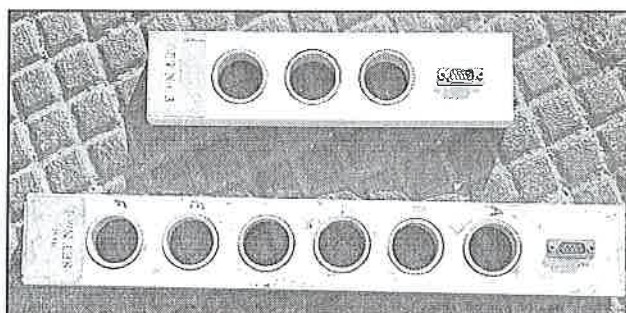
A méréshez a talajtól megtisztított vezeték külső palástjára, az anten-nasoron található érzékelők egymástól való távolságának megfelelően, négyzet alakú papírt (2. ábra) helyezünk (5×5 cm). Ezt a „sorvezetőt” használva, 50 mm átmérőjű anten-nasorral (kézi vizsgálófej) elvégezzük a csőfal elektromágneses állapotvizsgálatát (3. ábra). A meglévő szigetelést, vagy festékréteget nem kell a cső palástjáról eltávolítani.

A mérési adatokat e-mailen továbbítjuk az adatok értékelését végző ausztrál partnerhez, aki a falvastagság-változásokat ábrázolja (4. ábra). Az izometrikus vonalak az 50 mm átmérőjű falrész átlagolt vastagságát mutatják. A vékonyabb csőfal a világosabb területeken van.

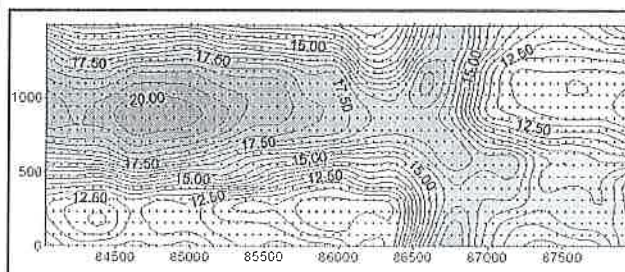
Mivel ez az értékelés jelentősen növeli a költségeket, ezért egy egyszerűbb változatot is alkalmazunk, amellyel az értékelés részben a helyszínen elvégezhető. Ebben az esetben nem számolunk falvastagságot,



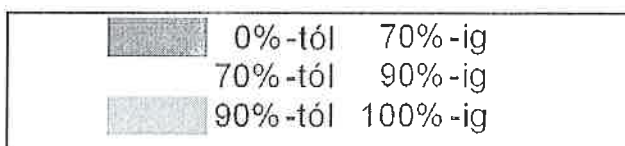
2. ábra. Mérőszablon



3. ábra. Antennasorok



4. ábra. A falvastagság izometrikus ábrája



5. ábra. Színtérkép a csőfalról

hanem az azon a szakaszon mért legvastagabb fal százalékaiban a felületrészeket besoroljuk (5. ábra). A gyors helyszínen végezett értékelést követően megjelöljük azokat a felületrészeket (6. ábra), ahol a mérést finomítani célszerű, és a VEKOR-módszerrel [4] megvizsgáljuk a vastalanodott réteg mélységét. Ezen a kisebb felületrészen a BEM-mérést 10 mm-es antennával megismételjük. A külső, talajoldali korrózió értékelésének alapadatát a VEKOR-mérés adja. Ha a BEM-módszer által jelzett falvastagság-csökkenés nem egyezik a kívülről mért vasta-



6. ábra. A vizsgált csőfelület

II. táblázat. A BEM-módszer kalibrálása

Mérési pont	vastalanodás, mm		számított ép falvastagság, mm	10 mm-es BEM antennával mért ép falvastagság, mm	A két mérés közötti különbség, mm
	Külső oldali	belső oldali			
1	0,6	0,8	16,2	16,2	0,1
2	0,3	0,8	16,4	17,5	1,1
3	0,3	0,6	16,6	17,5	0,9
4	0,3	1,1	16,0	17,5	1,5
5	0,2	1,5	15,8	17,5	1,7
6	0,1	1,5	15,9	17,5	1,6
7	0,3	0,6	16,6	17,5	0,9
8	0,1	0,9	16,5	17,5	1,0
9	0,3	2,9	14,4	17,5	3,1
10	0,3	0,7	16,5	17,5	1,0
11	0,6	0,1	16,9	17,5	0,6
12	0,4	0,8	16,2	17,5	1,3
13	0,1	2,1	15,3	17,5	2,2
14	0,2	1,5	15,8	17,5	1,7
15	0,6	0,8	16,2	17,5	1,4
16	0,6	0,5	16,3	17,5	1,2
17	0,7	0,4	16,4	16,2	-0,2
18	2,5	0,3	14,7	14,4	-0,3
19	2,5	0,7	14,4	11,7	-2,7

VI. táblázat. Talaj redox-potenciál értékelése

Redox-potenciál, mV	Szellő-zöttség	Korrodáló-képesség
< 100	nem szellőző	nagy
101–200	kissé szellőző	mérsékelt
201–400	közepes	kicsi
> 400	jó	igen kicsi

VII. táblázat. Talaj pH-értékelése

pH-érték	Talajcsoport
< 4,5	nagyon savas
4,6–6,5	savas
6,6–7,5	semleges
7,6–9,5	lúgos
> 9,6	nagyon lúgos

X. táblázat. Korrelációs együtthatók

Összes 131 db	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 minimális talajellenállás	1,00								
2 eredeti talajellenállás	0,81	1,00							
3 nedvesség	-0,29	-0,54	1,00						
4 pH	-0,22	-0,10	-0,13	1,00					
5 redox-potenciál	0,29	0,29	-0,16	0,11	1,00				
6 állapotpotenciál	0,18	0,31	-0,42	0,25	0,16	1,00			
7 katódos potenciál szélsőérték	0,20	0,31	-0,32	0,04	0,14	0,62	1,00		
8 anódos potenciál szélsőérték	0,08	0,14	-0,26	0,27	0,10	0,75	0,19	1,00	
9 mért vastalanodás	-0,23	-0,25	0,20	0,05	-0,23	0,04	-0,01	0,04	1,00
1924 előtt 51 db	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 minimális talajellenállás	1,00								
2 eredeti talajellenállás	0,91	1,00							
3 nedvesség	-0,17	-0,37	1,00						
4 pH	-0,10	-0,05	-0,10	1,00					
5 redox-potenciál	0,52	0,46	-0,15	0,08	1,00				
6 állapotpotenciál	0,29	0,34	-0,34	0,18	0,06	1,00			
7 katódos potenciál-szélsőérték	0,40	0,39	-0,15	-0,09	0,11	0,55	1,00		
8 anódos potenciál-szélsőérték	0,07	0,12	-0,26	0,23	0,00	0,82	0,14	1,00	
9 mért vastalanodás	-0,11	-0,05	0,04	-0,09	-0,40	0,16	0,11	0,07	1,00
1924-től 1950-ig 39 db	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 minimális talajellenállás	1,00								
2 eredeti talajellenállás	0,78	1,00							
3 nedvesség	-0,42	-0,69	1,00						
4 pH	-0,16	-0,13	0,04	1,00					
5 redox-potenciál	0,34	0,24	0,01	-0,08	1,00				
6 állapotpotenciál	0,36	0,38	-0,35	0,24	0,41	1,00			
7 katódos potenciál-szélsőérték	0,28	0,35	-0,32	0,07	0,35	0,83	1,00		
8 anódos potenciál-szélsőérték	0,27	0,18	-0,14	0,29	0,23	0,44	0,34	1,00	
9 mért vastalanodás	-0,20	-0,24	0,30	-0,01	-0,21	-0,12	-0,15	0,02	1,00
1950-től 36 db	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 minimális talajellenállás	1,00								
2 eredeti talajellenállás	0,77	1,00							
3 nedvesség	-0,31	-0,58	1,00						
4 pH	-0,37	0,00	-0,30	1,00					
5 redox-potenciál	-0,17	0,03	-0,23	0,30	1,00				
6 állapotpotenciál	-0,12	0,26	-0,60	0,50	0,01	1,00			
7 katódos potenciál-szélsőérték	-0,18	0,13	-0,59	0,50	-0,05	0,70	1,00		
8 anódos potenciál-szélsőérték	-0,02	0,18	-0,31	0,31	0,06	0,77	0,22	1,00	
9 mért vastalanodás	-0,33	-0,36	0,29	0,12	-0,01	-0,03	0,03	-0,01	1,00

III. táblázat. A bevonat értékelése

Fajlagos szigetelési vezetőképesség, (μS/m²)	A bevonat minősége
0–100	kitűnő
100–400	jó
400–2000	megfelelő
> 2000	rossz

IV. táblázat. Minimális fajlagos talajellenállás értékelése 2

Talajellenállás (Ω·m)	Korróziós aktivitás
> 200	egyáltalán nem korrozív
100–200	enyhén korrozív
50–100	mérsékelt korrozív
30–50	korrozív
10–30	nagyon korrozív
< 10	különösen korrozív

V. táblázat. Minimális fajlagos talajellenállás értékelése 3

Minimális fajlagos ellenállás [Ω·m]	Korrodáló-képesség
< 10	nagy
10–50	közepes
> 50	kicsi

VIII. táblázat. Talaj korróziós értékelése öntöttvasra

Talaj paraméter Ellenállás (ohm·cm)	Hozzárendelt pont
< 700	10
700–1000	8
1000–1200	5
1200–1500	2
1500–2000	1
> 2000	0
pH	
0–2	5
2–4	3
4–6,5	0
6,5–7,5	0
7,5–8,5	0
> 8,5	3
Redoxpotenciál (mV)	
> 100	0
50–100	3,5
0–50	4
< 0	5
Szulfid	
pozitív	3,5
nyomokban	2
negatív	0
Nedvesség	
állandó nedvesség	2
nedves	1
száraz	0

IX. táblázat

Csőméret, NÁ mm	Szakítószilárdság, átlagok, N/mm²
80	160
100	156
150	151
200	144
300	145
800	101

lanodásból számított értékkel, akkor a cső belül is korrodált. A két módszerrel mért adatok különbsége adja a belső korrózió mértékét.

Kiegészítő vizsgálatok

Ha a falvastagság méréséhez már feltárták a csővezetékét, akkor célszerű kiegészítő méréseket is végezni. Ezek a következők.

A csővezeték ellenőrzése

A vizsgálat során megmérjük a cső kerületét és fektetési mélységét, az útburkolat vastagságát; dokumentáljuk a gödörben lévő egyéb csövek helyzetét, fényképeket is készítünk.

A bevonat ellenőrzése

A csövek felületén a bevonatot – ha van – a fajlagos szigetelési vezetőképesség méréseredménye szerint minősítjük. Mérőeszköz: a Megger Earth Tester. A minősítés alapja az MSZ 18095/5 szerint a III. táblázatban látható.

A talaj korrozivitásának vizsgálata

A talaj háromfázisú (szilárd, folyadék, gáz) vegyes rendszer. Mechanikai összetétele helyileg állandó. Jellemzőinek többsége már kis távolságon belül is eltérő. A legtöbb talaj vízszintesen és függőlegesen is heterogén. A talajnedvesség oldott állapotban oxigént, ásványi sókat, ionokat, savakat vagy lúgokat tartalmaz. Gyakran a szerves anyag mennyisége is jelentős. A talajnedvesség másképp megfogalmazva elektrolitoldat, amelyben a legtöbb fém és ötvözet bizonyos sebességgel oldódik, más szerkezeti anyagok (beton, műgyanta) is károsodhatnak. Az oxigén diffúzió útján, vagy a mélyebb rétegekbe szivárgó felszíni vizekben oldva jut az acélszerkezetekhez. A talajjellemzők változásának mértéke több tényezőtől (mechanikai összetétel, időjárási és domborzati viszonyok stb.) függ. A mechanikai összetétel a nedvességtartalom, sótartalom és az oxigénkoncentráció helyi értékét is befolyásolja. A szerves anyagok és a kémiai összetevők (sók, savak ill. bázisok) a nedvesség, az oxigén, valamint a talajban élő mikroorganizmusok hatására átalakulhatnak, a folyamatot a pH változása kíséri.

Ki kell emelni azt a tényt, hogy a talaj elektrokémiai jellemzői nem állandók és abban az esetben is változnak, ha látványos környezeti változás nem következett be. Ezért nemcsak a talajba telepített szerkezet építéskor, hanem időszakosan az üzemeltetés során is célszerű mérések alapján megvizsgálni, értékelni, hogy a talaj korróziós jellemzői változtak-e és melyek, milyen irányban.

A talaj- és talajvíz-vizsgálatok és korróziós értékelése elsősorban az ipari gyakorlat számára fontosak, tájékoztatást nyújtanak azokra a műveletekre, amelyeknek elvégzése a korrózióvédelem alkalmazójának, a védett szerkezet üzemeltetőjének a feladata, és amelyek döntően a szerkezethez, a helyszínhez közvetlenül kapcsolódnak, illetve a mérési és vizsgálati végeredmények alapján a korróziós hatásra vonatkozó műszaki becslések elvégzését lehetővé teszik.

A talajok jellegét korróziós szempontból is figyelembe kell venni. A talaj szilárd szemcséinek átmérője tág határok között változhat. Az iszapos és agyagtalajok koloid frakciót is tartalmaznak. A szemcseméret eloszlása és a nedvességtartalom együttesen szabja meg a levegő (oxigén) diffúziójának mértékét. A szemcseméret eloszlásától függ a víztartó és vízmegkötő, a vízáteresztő, a kapillaris vízemelő képesség és a fajlagos ellenállás.

A talaj nedvességtartalma a csapadék mennyiségétől, a talajvízszint magasságától, a domborzati viszonyoktól, a szemcseméret-eloszlástól és a talajszerkezettől függ. Ha például homokréteg alatt vízzáró agygréteg van, víztartalma magasabb lehet, mintha kapillaris vízemelő útján nedvesednék. Az agyagtalajok víztartó, vízmegkötő képessége nagy, vízáteresztő és kapillaris vízemelő képessége kicsi. A homoktalajoknál fordított a helyzet.

A talajszerkezet bonyolult módon befolyásolja a korróziós szempontból nagyon jelentős nedvességtartalmat. Ugyanakkor egy kritikus nedvességtartalom értékig a korróziós aktivitás nő, majd azon túl csökken. Kis nedvességtartalomnál a talaj fajlagos ellenállása nagy, a korróziós folyamatok gátoltak. Nagy nedvességtartalomnál a fém-talaj határfelület oxigénellátottsága csökken, ezért a korróziós folyamatok sebessége is

kisebb. Ennek ellenére, számos más tényező hatása miatt a különböző talajok korróziós aktivitása a nedvességtartalommal nincs egyenes arányosságban. Ezért nem elegendő a talajfajta és a nedvességtartalom ismerete, sokkal pontosabb következtetést lehet levonni a talajkorróziós laboratóriumban mért minimális fajlagos ellenállás és redoxpotenciál adatokból. A magyar szabványok is ezen alapulnak. A redoxpotenciál a talajelektrolit oxigéntartalmával van összefüggésben.

A talajok számos tulajdonsága együttesen befolyásolja a talaj minimális fajlagos ellenállását. A minimális fajlagos ellenállást a talajt egyre jobban nedvesítve határozzuk meg, annál a pontnál, ahol mint már említettük, a korróziós aktivitás a legnagyobb. Számos kutatás bizonyította, hogy a minimális fajlagos ellenállás összefüggésben van a talajok korrozivitásával. Ez érthető abból is, hogy az elektrokémiai korróziós cellákban folyó korróziós áramot leginkább a cella belső ellenállása határozza meg.

Amerikai szakkönyv [2] szerint a talaj fajlagos ellenállása és a korróziós kategória a IV. táblázat szerint alakul. De ez a táblázat nem emeli ki, hogy a besorolás öntöttvasra, vagy acélra vonatkozik-e. Véleményünk szerint inkább acélra érvényes, mint a magyar értékelés is (V. táblázat).

A talajok laboratóriumban mért redox-potenciálja, szellőzöttsége és korrodáló képessége közötti összefüggés az VI. táblázatban látható.

A talajokat, a mért pH-értékük szerint, a VII. táblázatban található csoportokba osztjuk.

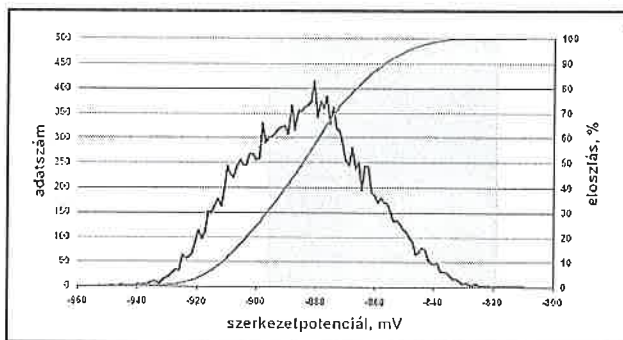
Az amerikai DIPRA (Ductil Iron Pipe Research Association) több intézménnyel együtt öntöttvasakra vonatkozó talajértékelési módszert szabványosított [5] (VIII. táblázat).

Mi a talaj értékelését az MSZ 18094 szabvány alapján végezzük. Mérőeszközök: a Megger Earth Tester, a Tacussel Minisim multiméter, a Mettler mérleg, a Gallia Flam-Comp termomérleg, az üveg- (pH), a telített kalomel- és a platinaelektrod, a szállítászelektroly, a fajlagos talajellenállás-mérő doboz. A talajmintát mindig a gödör homlokfalából, a továbbmenő csővezeték mellől vesszük.

A szerkezetpotenciál mérése

A szerkezetpotenciál értéke összefüggésben van a korróziós folyamatokkal. Az öntöttvas csövek korróziós potenciálja jól szellőző, nem agresszív talajban -450 és -550 mV tartományban van. Ha ez az érték ennél negatívabb, akkor kb. -700 mV-ig vagy fokozottabb a korrózió, vagy a cső katódos kóboráram által befolyásolt. Hasonlóan kóboráramot, de anódos, oldó irányú jelez, ha a korróziós potenciál -350 mV-nál pozitívabb. A mért potenciálok értékelésénél az időbeli változást is vizsgáljuk. Mérőeszközök: NIDAQ 6036E (PCMCIA) multifunkciós adatgyűjtő és hordozható PC, hozzávaló árnyékolt kábel, árnyékolt csatlakozó blokk, réz/rézszulfát referencia elektrodok, Sefram X-Y író, ITT MX44 multiméter, csatlakozó bilincsek. Értékeléshez PC asztali számítógép statisztikai és adatkezelő programokkal.

Ha a potenciál rövid időn belül változik, ingadozik, akkor ezt valószínűleg kóboráram okozza. Nem mindegy azonban az időbeli gyakoriság. Ezért a mért értékeket hisztogrammal és eloszlásfüggvénnyel is ellenőrizzük (példaként Bem utca, 7. ábra). Veszélyesnek tekintjük azt, ha a mérési időtartam legalább 30%-ában a potenciál a feltételezett nyugalmi potenciálhoz képest 300 mV-nál nagyobb. A katódos kóboráram befolyásolást elfogadhatatlanul nagyknak kell tekinteni, ha a szerkezetpo-



7. ábra. Öntöttvas cső szerkezetpotenciáljának hisztogramja és eloszlásfüggvénye

tenciál -1100 mV-nál negatívabb (IR-mentes). Egy negatív potenciál-eltolódás valamely létesítmény egy részén jelzi, hogy vannak a létesítménynek más részei, amelyek anódosan befolyásoltak. Ha nagyon negatív potenciál-eltolódásokat (pl. $\Delta U > 500$ mV, belefoglalva az ohmos feszültségesést) mérünk, ajánlatos a területen az anódosan polarizált helyet is megkeresni.

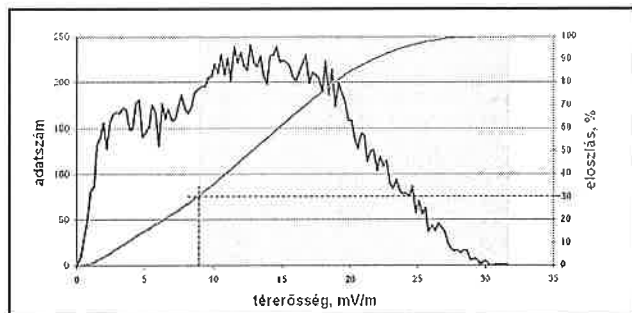
Térorösség mérése

A talajban folyó kóboráramra következtetni lehet a talaj különböző pontjai között mérhető feszültségéből. Ezt a feszültséget az áram és a két vizsgálati pont közötti talajréteg ellenállásának nagysága határozza meg. A talaj pontjai közötti feszültség meghatározható két, nem polarizálódó összehasonlítható elektród közötti feszültség nagy belső ellenállású millivolt-mérővel végzett méréssel. A mért feszültséget a két pont távolságával osztva a térorösséget mV/m egységekben fejezzük ki. A mérési adatok előjelét is figyelembe véve a térorösségnek iránya is van, így vektorokként a mérések összegezhethetők és felrajzolhatók. A talajban az áram a negatívabb mérési pont felé folyik.

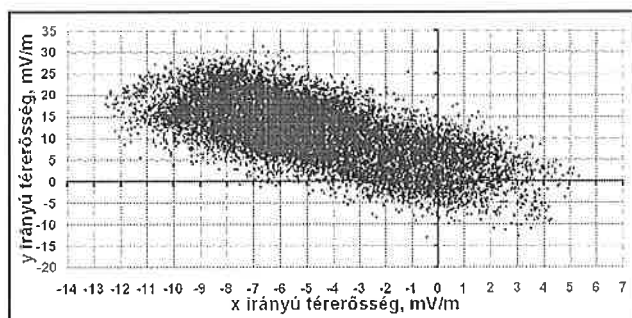
Mérőeszközök: NI DAQ 6036E (PCMCIA) multifunkciós adatgyűjtő és hordozható PC, hozzávaló árnyékolt kábel, árnyékolt csatlakozó blokk, réz/rézszulfát referencia elektródok, Sefram X-Y író, ITT MX44 multiméter, csatlakozóbilińcs. Értékeléshez asztali számítógép statisztikai és adatkezelő programokkal. A mérés során háromelektrodos módszert alkalmazunk. Az egyik elektródot lehetőleg a feltárt cső mellé, a gödörbe helyezzük el, a másik két elektróddal igyekszünk derékszögű háromszöget képezni. Elhelyezésükhöz talajkapcsolat kell, ezért füves területet, utcai fák tövét, az út menti kertet lehet figyelembe venni. Az elektródok távolsága 10–15 m. Ha nem sikerül derékszögű háromszöget képezni, akkor a kiértékelésnél a háromszög szögeit is figyelembe kell venni. Nagyon vigyázni kell arra, hogy a vizsgált csővünk ne legyen a két távolabbi elektróddal egyező oldalon, azaz a mérés ne keresztezze a csövet. Ha van feszültségingadozás, akkor kb. 1 óráig folytatjuk a mérést.

Ha a térorösség időben változik, akkor nem mindegy az időbeli gyakoriság. Ezért a mért értékeket hisztogrammal és eloszlásfüggvénnyel is ellenőrizzük (példaként Bem utca, 8. ábra). Az értékelésre általános-ságban mondhatjuk, hogy ha az időtartam legalább 30%-ában 2,5 mV/m-nél nagyobb az anódos térorösség, akkor korróziós szempontból veszélyes mértékű kóboráram van (a legújabb szabványban 0,5 mV/m küszöbérték van, de véleményünk szerint ez túlzás). A kóboráram irányát X-Y ábrával vizsgáljuk (példaként Bem utca, 9. ábra).

Az elemzés közben, a helyszín ismeretében, megállapítható, hogy



8. ábra. A térorösség hisztogramja és eloszlásfüggvénye



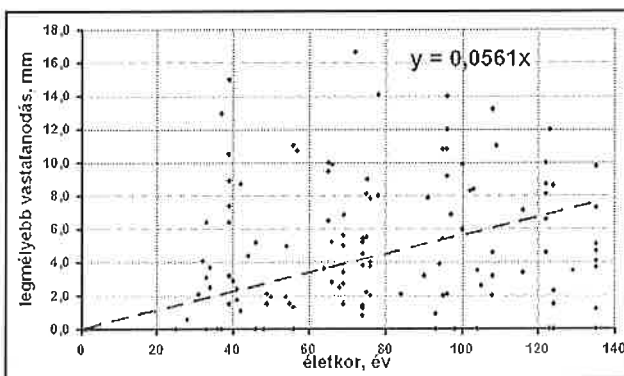
9. ábra. A térorösség irányának vizsgálata

az idő 70%-ában katódos jellegű, a cső felé irányuló, a határértéket meghaladó, de az adott pontban a csövet nem károsító kóboráram van.

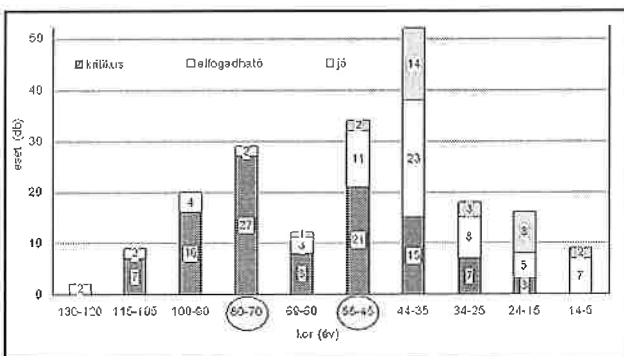
A gyűjtött adatok elemzése

Eddig 147 db lemezgrafitos öntöttvas csőfal mérését és korróziós környezetének értékelését végeztük el. Esetenként két cső is van egy gödörben, tehát a feltárások száma ennél kisebb, 120-nál tartunk. A vizsgálat többnyire külső vastalanodást jelzett, három helyen regisztráltunk a külsőnél nagyobb mértékű belső korróziós sérülést. Ha az életkor függvényében vizsgáljuk az adatokat, bizony igencsak csillagos eget kapunk (10. ábra). Sajnos a csövek eltérő minősége befolyásolja az értékelést. A törési statisztikából is ismert, hogy a második világháborút közvetlen megelőző időszakban és a hatvanas években fektetett csövek rosszabb minőségűek (11. ábra). A 10. ábrán erőltetetten behúzott trendvonal egyébként a szakirodalomban is megtalálható, 0,05 mm/év korróziósebességet hozott ki.

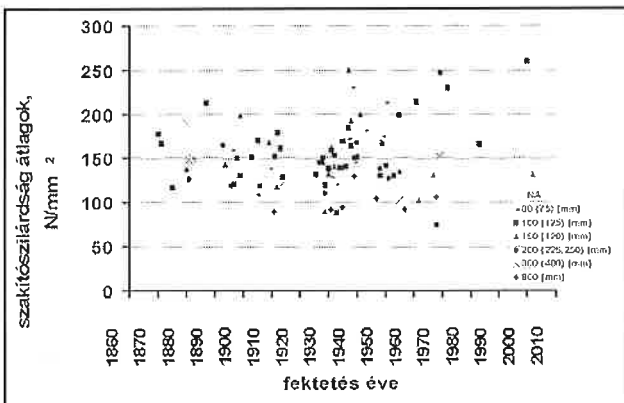
A különböző időszakokban fektetett budapesti csövek eltérő minőségére vonatkozó feltételezés vizsgálatához diagramot készítettünk a csőtöréseknél keletkezett csőminták szakítószilárdság adataiból (dr. Németh Árpád, BME; személyes közlés, 12. ábra).



10. ábra. Mért korrózió a cső korának függvényében



11. ábra. A csőtörésekből származó öntöttvas minták roncsolásos minősítése [7]



12. ábra

A 12. ábrán látható, hogy ez a paraméter nem mutatja a csövek minőségi különbségét. Az adatokat átmérők szerint bontva is megvizsgáltuk, a szakítószilárdság továbbra sem függött a gyártási évtől. Függött viszont a csőátmérőtől (IX. táblázat).

Véleményünk szerint a csövek minőségének ma mérhető paramétere nem oka az eltérő viselkedésnek. Különbség lehet az öntési kéreg eltávolításában (homokszórásos öntvénytisztítás bevezetése) és a kátránybevonat bitumenre cserélésében, vagy elhagyásában. Mivel azonban a törési statisztika egyértelmű, az értékelés finomítása érdekében a csövek korrózióját elkülönítve is vizsgáltuk. Az életkor szerint a csöveket három részre osztottuk. Az első csoport az 1926 előtt fektetett csövek (51 db), a második az 1926–1950 között fektetettek (39 db), a harmadik pedig az 1950 után fektetettek (36 db).

A továbbiakban egyben és csoportonként elvégeztük a paraméterek korrelációs vizsgálatát. A statisztikai próba adatszámát figyelembe vevő Student t próba szerint [8] korreláció állapítható meg ($\alpha = 0,1$), ha a korrelációs együttható meghaladja a 0,164 (összes), illetve 0,26 (többi) értéket. A korreláció többnyire enyhe, a X. táblázatban ezeket vastagítottuk.

Mint a X. táblázatban látható, a korrózió mértékének a VEKOR-módszerrel mért legmélyebb vastalanodást vettük. A táblázat alapos tanulmányozása érdekes eredményre vezet. A vastalanodás korrelál a talaj eredeti állapotában mért fajlagos ellenállásával, a laboratóriumban mért minimális fajlagos ellenállással, a talaj nedvességtartalmával és redox-potenciáljával. Ez a korreláció nem áll fent az öreg csöveknél. Úgy tűnik, hogy ezek eredetileg meglévő öntési kérgé és kátránybevonata erősen befolyásolta a folyamatokat.

Meglepő, hogy a korróziós potenciálokkal nem találtunk korrelációt. Ezt magyarázhatja az a mérés technikai tény, hogy a potenciált a vizsgált felületen nem tudjuk mérni. Ezt a felületet letisztították, a talajt eltávolították. A potenciált a gödör falánál mérjük, ez információt ad a cső többi részére. A szakirodalom és saját korróziós kutatásaink alapján biztosak vagyunk abban, hogy ez fontos adat, ezért a továbbiakban is figyelembe vesszük.

Az elemzést folytatva a korróziós veszély értékelésére pontozásos módszert dolgoztunk ki (XI. táblázat). Az értékelésnél figyelembe vettük a laboratóriumban mért minimális fajlagos talajellenállást, a talajnedvességet, a talaj redox-potenciálját, a cső szerkezetpotenciáljának középértékét, csőpotenciál-ingadozás maximumát és a cső korát. A kor pontozása figyelembe veszi a budapesti egyedi helyzetet, a korszakosan eltérő csőminőséget. A kiszámított pontérték függvényében a mért vastalanodás látható a 13. ábrán.

A tendencia egyértelmű, de nagy a szórás. Mértünk kis pontértékű környezetben aránylag nagy vastalanodást és fordítva. Egyértelmű, hogy a mérhető paraméterek nem képezik le maradéktalanul a bonyolult korróziós folyamatot. Az egyetlen mérhető adat, a korróziós mikrocellák áramsűrűsége viszont mai módszerekkel nem mérhető. Az öntési kéreg, a bevonat, a lerakódott korróziótermékek hatása nem számszerűsíthető.

Véleményünk szerint javítható az értékelés, ha a pontérték mellett a vastalanodás mért értékét is figyelembe vesszük. Gyakorlatunkban a csövek rekonstrukciójának tervezését segítő korróziós értékelésnél három kategóriát használunk. A vizsgált helyszíneket korróziós veszély nincs (1), közepes (2), illetve kritikus (3) minősítéssel jellemezzük. Elem-

zésünk alapján a következő mátrix alkalmazását javasoljuk (XII. táblázat).

Osszefoglalás

Dolgozatunkban elemeztük a lemezgrafitos öntöttvas csövek korróziójának jellemző folyamatait, a falvastagság és a talajkörnyezet korróziós hatásának mérési módszereit. Részletesen bemutattuk komplex vizsgálati eljárásunkat. Elemeztük a budapesti vízvezeték-hálózaton gyűjtött adatainkat. Értékelési módszert dolgoztunk ki a korróziós veszély mértékének becslésére.

XI. táblázat. Talajkörnyezet korróziós értékelése lemezgrafitos öntöttvasra

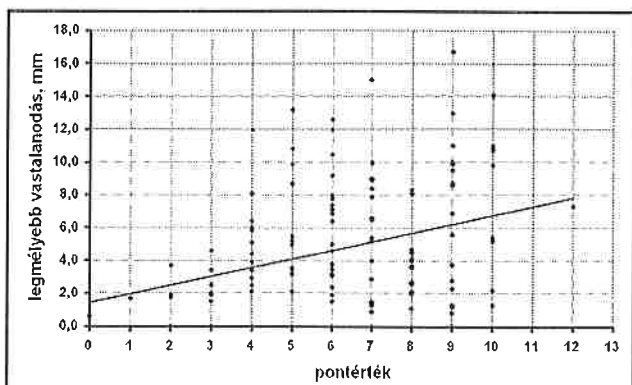
Paraméter	Hozzárendelt pont
Laboratóriumban mért minimális fajlagos talajellenállás ($\Omega \cdot m$)	
< 5	4
5–10	3
10–15	1
≥ 15	0
Talajnedvesség	
≥ 15	2
10–15	1
< 10	0
Talaj redox-potenciál (mV)	
< 380	2
380–420	1
≥ 420	0
Cső szerkezetpotenciál középértéke (mV)	
≥ -350	2
-350 ÷ -450	1
-450 ÷ -650	0
< -650	-1
Csőpotenciál-ingadozás (mV)	
≥ 300	1
< 300	0
Csőéletkor (év)	
> 100	3
100–80	2
80–55	3
55–30	1
≤ 30	0
Pontok értékelése	
≥ 9	nagy korróziós veszély
9–5	közepes veszély
≤ 5	nincs veszély

XII. táblázat. Értékelő mátrix

Talajkörnyezet, pont	< 5	9–5	> 9
Vastalanodás			
> 8 mm	3	3	3
4–8 mm	1	2	3
< 4 mm	1	1	2

Felhasznált szakirodalom

- Artinger István – Németh Árpád: Korróziós Figyelő 2003. 43. (6) 182–188.
- Handbook of Corrosion Engineering: Roberge, Pierre R. McGraw-Hill; Publication Date: Sept. 1999; ISBN 007-076516-2; 1140 pages
- Varga László – Lőrincz András: Fémek anyagú csővezetékek roncsolásmentes vizsgálata, falvastagság-mérés elektromágneses eljárással. VEKOR-konferencia előadás, 2003. 04. 02.
- Dr. Horváth Márton – Mátravölgyi Norbert: Öntöttvas vízcsövek kőboráramos károsodásának laboratóriumi modellezése, vizsgálata. VEKOR-konferencia előadás, 2003. 04. 02.
- American Water Works Association irányelv (AWWA C-105 Standard)
- Dr. Horváth Márton – Zsathly Valéria – Mátravölgyi Norbert: A Fővárosi Vízművek csővezeték-rekonstrukciójának tervezése. VEKOR-konferencia előadás, 2003. 10. 14.
- Zimmer Péter – Hetényi Zsuzsanna: A rekonstrukció tervezését segítő csőhálózati állapotfelmérés. VEKOR-konferencia előadás, 2004. 10. 13.
- Felix – Bláha: Matematikai statisztika a vegyiparban. Műszaki könyvkiadó, 1964.



13. ábra. A pontértékelés eredménye

Egyenes csöves atomerőműi hőcserélők vizsgálata*

Fodor Olivér¹ – Gillemot László² – Weisz István¹

Az ALSTOM Power Hungária Rt. (APH) – a korábbi Láng Gépgyár – francia megrendelésre 6 db, a szekunder körbe beépítendő atomerőműi hőcserélőt gyártott le. Az egyes modulok csőfalaiba a 17 814 db csövet bepréseléssel rögzítették. Feladatunk a bepréselt csővégek tömörségének az ellenőrzése volt. Esetünkben ezt nem a szokásos víznyomáspróbával kellett végrehajtani – amelyre egyébként az APH fel van készítve –, ezért a hőcserélők szivárgásvizsgálatát az ÁEF Laboratórium Kft. bevonásával végezte el az APH. Mivel a vizsgálat néhány tekintetben egyedülálló volt országunkban, ezért érdemesnek tartjuk ismertetését.

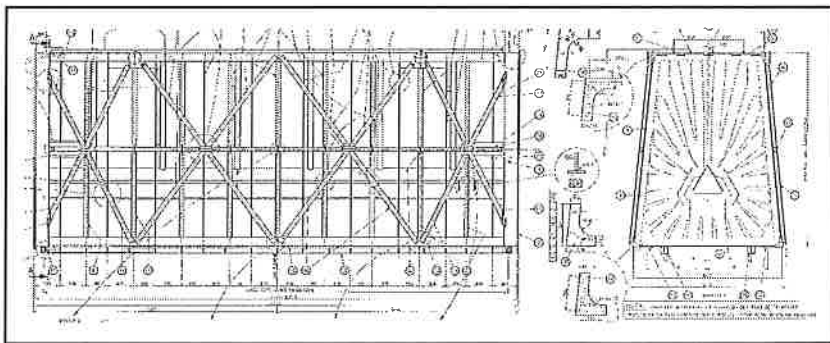
A szivárgásvizsgálat különlegességei

Vizsgálati terv készítése

A megrendelő megkövetelte, hogy részletes vizsgálati előírás készüljön, amit egyrészt egy III. fokozatú képesítéssel rendelkező vizsgálo személy ellenőrizzen, és természetesen azt is, hogy MSZ EN ISO / IEC 17025:2001 minősítéssel rendelkező vizsgálo cég legalább 2. fokozatú képesítéssel bíró személyzete végezze a vizsgálatokat. A megrendelő végül is az előírás „B” változatát fogadta el, amely az MSZ EN 1593, MSZ EN 1779 C3 szabványokon és az Alstom két belső előírásán alapult. Az egyik előírás, amelyet csővégbehegesztésekre dolgoztak ki, szűkítette az alkalmazható lehetőségek körét, míg a másik a felhasználható anyagok tisztaságára vonatkozott.

A megrendelőt nem elégítette ki, hogy a megvizsgált felületeket a csőfalon jelöljük be, hanem ragaszkodott, hogy minden egyes lépést egy csőtérképen is jelöljük.

Nem tartozott szorosan a szivárgásvizsgálathoz, de a préselési technológia ellenőrzésére kör alakú próbacsőfalakon préselési vizsgálatokat kellett végrehajtani a prészerszám optimális beállításához. A próbacsőfalon először tömörségvizsgálatot végeztünk 0,2 MPa túlnyomással és az ellenőrzéshez Proof Check folyadékot használtunk, majd következett a mechanikai vizsgálat, amely a csövek kiszakítását jelentette.



1. ábra. A vizsgálandó hőcserélő körvonalrajza

A vizsgálandó szerkezet sajátosságai

A hőcserélő körvonalrajzát az 1. ábra szemlélteti. A szivárgásvizsgálat módszerét és feltételeit a szerkezet sajátosságai határozták meg, nevezetesen:

Nincs zárt tér, mivel ezeknek a hőcserélő moduloknak nincs zárt burkolatuk, és a csöveket sem veszi körül zárt tér, amelyben túlnyomást lehetne létrehozni. Ennek két következménye volt:

- csak vákuumos megoldás jöhetett szóba,
- nem volt mód arra, hogy egy-egy modul csőfalának az összes varratát egyidejűleg vizsgáljuk.

Nagy a csőszám. Egy-egy modulba 17 814 darab cső van beépítve,

vagyis a vizsgálandó csővégek száma ennek a duplája, és 6 modult gyártottak le egymás után, kis idő különbséggel. A rendkívül nagy csőszám gyors vizsgálati technológiát követelt meg. A 17 mm átmérőjű, több mint 10 m hosszú csövek üregének térfogata kb. 2,5 l. A gyártási idő rövideje miatt egy modul vizsgálatára 24–48 óra állt rendelkezésre.

Közvetve: a kondenzátorban a csövek döntő többsége (kb. 90 %) rézcső, a maradék 10% két különböző falvastagságú titáncső. A szivárgásvizsgálatok szempontjából a csövek anyagának nem volt jelentősége, de természetesen a cső bepréselési paraméterei változtak.

A csőfalból kiálló csőcsomók. A legtöbb hőcserélőnél a behengerelt csövek kiálló végeit a csőfal síkjába visszamarják. Ennél a konstrukciónál, mivel a csőfalat utólag bevonattal látják el, a csővégek 1–1,5 mm-re kiálltak a csőfalból. Ez kétszeresen is problémát okozott:

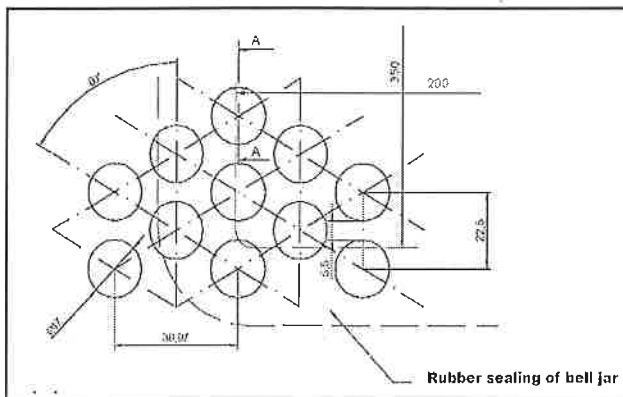
- A Grimas által leszállított Weber-keret nem tudta letömíteni a csövek végei közötti területet ilyen csővég sűrűségénél, és
- a vákuumkerettel szembeni csőfalnál pedig nem lehetett alkalmazni a szokásos gumilemez lezárást, hanem minden egyes csövet gumidugóval kellett lezárni. Ehhez a borászati kellékek szaküzletéből beszerzett kúpos gumidugókat használtuk.

Az első problémát megfelelő tömítő-gumicső beszerzésével oldottuk meg, amelyet ragasztással erősítettünk a kerethez, illetve a végeiket egymáshoz. Több tömítő-gumicső kipróbálása után találtuk meg azt az egyet, amely mind méretében, mind tulajdonságában biztosította a megfelelő vákuumzárást. Ennek a megoldásnak az is előnye volt, hogy az elhasználdott (kb. 10 000 csővég vizsgálata után) tömítő-gumicső egyszerűen újra cserélhető volt.

Egyedi vizsgálókeret. A vizsgálókeretet az ÁEF tervei alapján a Weber cég gyártotta le. Mérete 350x200 mm. Ez biztonságosan 72 csövet fog be, ami közel 200 l levegő kiszivattyúzását jelentette vizsgálókeret felhelyezéseként. Tekintettel arra, hogy a keret eltolását a biztonság kedvéért ennél kisebb lépésekben kellett végrehajtani, valamint a csőkép sem szabályos téglalap alapú, ezért átlagosan egy lépésben 50 cső vizsgálatával lehetett számolni. A 2. ábra mutatja a vizsgálókeret és a csövek egymáshoz viszonyított helyzetét, míg a 3. ábra a keret fényképfelvétele.

Az ábra is jól érzékelteti, hogy a tömítő felületnek jóval szélesebbnek kell lennie, mint a csövek átmérőjének, mert az a helyzet nem engedhető meg, hogy egy cső egyidejűleg a tömítő felületen belül is és kívül is legyen.

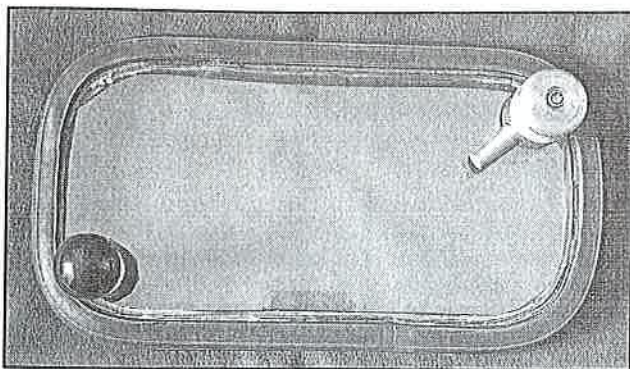
Az ábra is jól érzékelteti, hogy a tömítő felületnek jóval szélesebbnek kell lennie, mint a csövek átmérőjének, mert az a helyzet nem engedhető meg, hogy egy cső egyidejűleg a tömítő felületen belül is és kívül is legyen.



2. ábra. A vizsgálókeret és a csövek találkozási pontja

* Lásd a 71. oldalon.

¹ ÁEF Laboratórium; ² ALSTOM Power Hungária Rt.



3. ábra. A vizsgálókeret fényképe

A szivárgásvizsgálat tesztelése

A vizsgálati módszer érzékenységének igazolása

Egy síklapba beépített Leybold CAT-FABR No. 155.65 típusú etalonnal Proof Check folyadékkal igazoltuk, hogy a vizsgálókerettel 10^{-5} Pa.m³/s szivárgás a buborékképződéssel kimutatható. Ezt bizonylatolni kellett. Érdekességgéppen megemlítendő, hogy ugyancsak bizonylattal kellett igazolni azt, hogy a buborék-indikátor nem tartalmaz 200 ppm-nél több kloridot vagy halogén elemet.

Szivárgásvizsgálat modellen

A kondenzátor szivárgásvizsgálatát megelőzően a vizsgáló rendszert egy 30 (6x5 csövet) tartalmazó, 1000 mm hosszú, zárt doboz kialakítású rendszeren is kipróbáltuk. Ennek – az egyébként többféle szivárgásvizsgálathoz kialakított – mintatestnek („etalonnak”) azonban mindkét oldalán a csővégek egy szintben voltak a csőfállal. A szivárgás előidézése érdekében a titáncsőveket a névleges, 50 és 25 %-os nyomattal szagtoltuk be.

Legnagyobb meglepetésünkre az első vákuumos szivárgásvizsgálat során egyetlen buborék sem jelent meg a 0.4 MPa nyomáskülönbség hatására.

A vizsgálódoboz lehetővé tette, hogy belső túlnyomás hozzunk létre és 1.2 MPa-nál, 0.2 MPa túlnyomásnál a Proof Check már buborék-képződést jelezett. Ezt követően végrehajtott vákuumos vizsgálatok során már egyértelműen jelentkezett a szivárgás, még pedig oly módon, hogy a 25 %-os értékkel beprésett csővekből 9, míg a az 50 %-osakból 4 db szivárgása volt észlelhető. A technológiai előírásnak megfelelően elkészített csővégek közül egy sem szivárgott. Ez összhangban volt azzal, hogy a technológia megválasztásakor egyrészt ellenőrizni kellett a szivárgást (erre külön vizsgálódoboz készült), valamint mérni a kiszakító erő nagyságát.

Szivárgásvizsgálat a csőfállakon

A vákuum szivattyú teljesítménye 400 l/perc volt, kb. 1/2–1 percre volt szükség az előírt vákuum érték eléréséhez. A vizsgálat során az

előírt nyomáskülönbség legalább 0.4 MPa volt, amit minden egyes esetben a vákuumkerethez csatlakozó manométeren ellenőrizni kellett, majd a 30 másodperces kivárás ekkor kezdődött. Az előírás szerint minden egyes lépéskor a vizsgált területet jelölni kellett a térképen, és természetesen magán a csőfalon is. A tévedési lehetőség csökkentése érdekében vízszintesen egy zsinórt feszítettünk ki, ami meghatározta vertikális irányban a vizsgálókeret pozícióját, míg a horizontális pozícióját minden egyes lépésnél a csőfalon megjelöltük, illetve felvezettük a térképre is. Minden egyes vizsgálati pozíció az azonosíthatóság érdekében egy betű-szám kombinációs jelet kapott, amelyet a térképre is felvezettünk.

A vizsgálatok során egy fő kezelte a keretet, egy fő felvezette az adatokat a térképre és három fő pedig a csőfal hátoldalának dugózását végezte. A vizsgálatokhoz kb. 2000 dugót kellett beszerezni és a vizsgáló oldallal a szinkronizálás biztosításához 50 – 60 dugót kellett áthelyezni percenként. Mindezt a tevékenységet 0,5 – 4 m magassági szinten, természetesen mozgatható állványok igénybevételével.

Egy-egy modul vizsgálatát, mindkét oldalon, az ÁEF szakemberei – természetesen váltott személyekkel – kb. 20 óra alatt, de minden esetben 24 órán belül hajtották végre.

A vizsgálatok menetét néhány esetben olyan körülmény is hátráltatta, hogy maga a gumidugó nem biztosított megfelelő vákuumtömörséget, mert például repedt, porózus volt. Ezt a vizsgálókeretet kezelő személy úgy érezte, hogy buborék-képződés nem volt, de a célértéknek megfelelő vákuum értéket nem lehetett elérni. Ilyen esetekben meg kellett vizsgálni, hogy a vákuumkeret tömítése a rossz, vagy a keret pozíciója nem megfelelő, vagy meg kellett találni az 50 – 80 dugó közül, melyik a hibás.

A vizsgálatok eredménye

Az ALSTOM Power Hungaria Kft. által alkalmazott technológia és minőségbiztosítási rendszer eredményeképpen – a 6 modul 2 – 2 csőfállának vizsgálatáról készült 12 vizsgálati jelentés szerint – a 215 000 darabot meghaladó csővégek közül egyetlen egy sem szivárgott. Ezt az eredményt az is alátámasztja, hogy a csővégek közül egy sem folyt a beépítés helyszínén végrehajtott nyomáspróba során.

Összefoglalás

Közel 6 x 36 000 csővég vákuumos tömörségvizsgálatát kellett végrehajtani. Két alapvető problémát kellett megoldani:

1. a hőcserélő szekrénye nyitott volt, tehát nem lehetett túlnyomásos, csöveken kívüli teret létrehozni,
2. a csőfálból a csővégek 1–2 mm-re kiálltak, mivel a csőfalat később még bevonattal is ellátják.

Az adott feltételek mellett csak a vákuumos tömörségvizsgálat volt megfelelő. Kellő gondosságú előkészítést követően ezeket a vizsgálatokat az ÁEF Laboratórium a rendelkezésre álló rendkívül rövid idő alatt végrehajtotta és a végvevő által is elfogadott módon dokumentálta.

SZABVÁNYOSÍTÁS

Új, érvényes nemzeti szabványok

A Magyar Szabványügyi Testület által, a Szabványügyi Közlöny 2005/5.–6. számaiban közzétett és szakterületünket érintő érvényes szabványok a következők:

03 Szolgáltatások. Vállalatszervezés, irányítás és minőség.

– MSZ EN ISO/IEC 17020:2005; Ellenőrzést végző különféle típusú testületek működésének általános kritériumai.

– MSZ EN ISO/IEC 17040:2005; Megfelelőség-értékelés. A megfelelőség-értékelő testületek és az akkreditáló testületek által végzett társértékelés általános követelményei.

25 Gyártástechnika

– MSZ EN 13100-2-3:2005; Hőre lágyuló félkész termékek hegesztett kötéseinek roncsolásmentes vizsgálata. 2. rész: Röntgenvizsgálat. 3. rész: Ultrahangos vizsgálat.

45 Vasúti járművek

– MSZ EN 12408:2005; Személyszállításra tervezett kötélpálya-berendezések biztonsági követelményei. Minőségbiztosítás.

– MSZ EN 12927-7-8:2005; Személyszállításra tervezett kötélpálya-berendezések biztonsági követelményei. Kötelek. 7. rész: Ellenőrzés, javítás és karbantartás. 8. rész: Mágneses kötélvizsgálat (MRT).

77 Kohászat

– MSZ EN ISO 376:2005; Fémek. Egytengelyű vizsgálóberendezések ellenőrzéséhez alkalmazott eszközök kalibrálása.

91 Építőanyagok és építések

– MSZ EN 1015-19:2005; Falszerkezeti habarcsok vizsgálati módszerei. 19. rész: A megszállt vakolóhabarcsok páraáteresztő képességének meghatározása.

– MSZ EN 14157:2005; Természetes építőkövek vizsgálati módszerei. A kopásállóság meghatározása.

– MSZ EN 14579:2005; Természetes építőkövek vizsgálati módszerei. A hangterjedés sebességének meghatározása.

– MSZ EN 14581:2005; Természetes építőkövek vizsgálati módszerei. A lineáris hőtágulási együttható meghatározása

Atomerőműi cseppleválasztó csővég-behegesztéseinek ammóniás szivárgásvizsgálata*

Csollák Zoltán¹ – Gillemot László²

Az ALSTOM Power Hungária Rt. (APH) – a korábbi Láng Gépgyár – erőműi berendezéseket, részegységeket munkál meg, hegesztett szerkezeteket gyárt és turbina szigeteket és tápházi rendszereket szervizel.

Az ALSTOM Power Hungária Rt. finn megrendelésre 2 db. U csöves cseppleválasztót (Moisture Separator Reheater = MSR) gyártott. Mindegyik MSR – a szállítás miatt – két félből áll és két-két nagynyomású fokozattal bír, amely együttesen 3524 csővég szivárgásvizsgálatát igényelte. Egy-egy fél nettó súlya 107 tonna.

Szivárgásvizsgálatok

A hegesztett szerkezeteket leggyakrabban nyomáspróbával ellenőrzik, amivel egyidejűleg a szilárdságot és a tömörséget is tesztelik. A szerkezet funkciójától függően ezek a víznyomás értékek meghaladhatják az 50 MPa-t is (pl. nagynyomású hőcserélők). Az APH vállalat felkészült a nyomáspróbák végzésére, de a szivárgásvizsgálatokhoz nem rendelkezik kellő szaktudással (képesítéssel), eszközökkel és etalonokkal. Ezért az ilyen típusú vizsgálatokat az APH szakcég bevonásával hajtja végre.

Az említett cseppleválasztók szivárgásvizsgálatát az APH az ÁEF Laboratórium Kft.-vel (ÁEF) és az ammóniás hőcserélők szervizelésében nagy gyakorlattal rendelkező Cooltechnique Kft.-vel közösen hajtotta végre. Úgy ítéltük meg, hogy a megvalósított szivárgásvizsgálat néhány tekintetben egyedülálló volt az országban, ezért érdemesnek tartjuk ennek ismertetését.

A feladat különlegessége

Vizsgálati terv készítése. A megrendelő megkövetelte, hogy részletes vizsgálati előírás készüljön, amit egyrésztől egy III. fokozatú képesítéssel rendelkező vizsgálati személy ellenőrizzen, és természetesen azt is, hogy MSZ EN ISO / IEC 17025:2001 minősítéssel rendelkező vizsgálati cég legalább 2. fokozatú képesítéssel bíró személyzete végezze a vizsgálatot, illetve hagyják jóvá azt. Végül is az előírás „f” változatát fogadták el, amely az MSZ EN 1593, MSZ EN 1779 C3 szabványokon és az Alstom két belső előírásán alapult. Az egyik előírás, amelyet a csővégbehegesztésekre dolgoztak ki, szűkítette az alkalmazható lehetőségek körét, míg a másik a felhasználható anyagok tisztaságára vonatkozott. Ebben az is közrejátszott, hogy a magyar fél először héliumos tömörségvizsgálatot javasolt, amit a megrendelést közvetlenül kiadó Alstom társvállalat nem fogadott el.

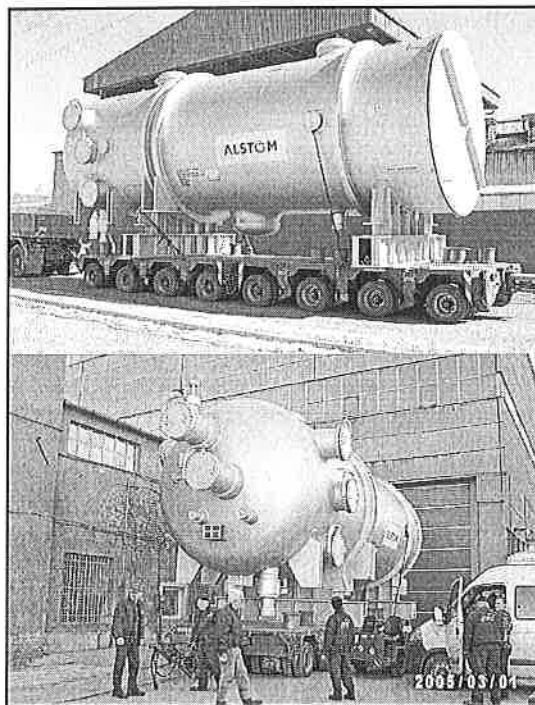
Nem tartozott szorosan a szivárgásvizsgálathoz, de a préselési technológia ellenőrzésére kör alakú próbacsőfalakon préselési vizsgálatokat kellett végrehajtani a prészerszám beállításának optimális értékeinek elérése érdekében. Mielőtt a csöveket kiszakítottuk volna a csőfalból, a tömörséget 0,2 MPa túlnyomással Proof Check folyadék segítségével szükséges volt ellenőrizni.

A vizsgálandó szerkezet. Egy-egy MSR fél két egymástól elválasztott nagynyomású hőcserélő részből, elő- és végszeparátorból, kompenzátorból és köpenyrészből áll. Négy ilyen fél készült, amelyekből kettő-kettő a helyszínen kerül összehegesztésre. Egy ilyen fél fényképe látható az 1. ábrán.

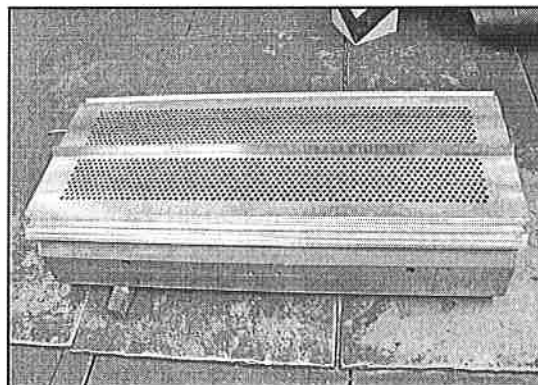
Csak a méretek érzékelésére: a köpeny átmérője közel 5 m, a hossza meghaladja a 11 m-t. A két hőcserélő rész csöveit egy tartókeret fogja össze (2. ábra), amelyhez csatlakozik a csőfal (3. ábra). A csőfalba a csöveket préseléssel fektették ki, majd automata AVI hegesztőgéppel készültek el a varratok. A kész varratok láthatók a 4. ábrán.

A csővég-behegesztést követte a szivárgásvizsgálat, majd ez után a csővégeket még mélységében két-két szakaszon a cső feltágításával is rögzítették.

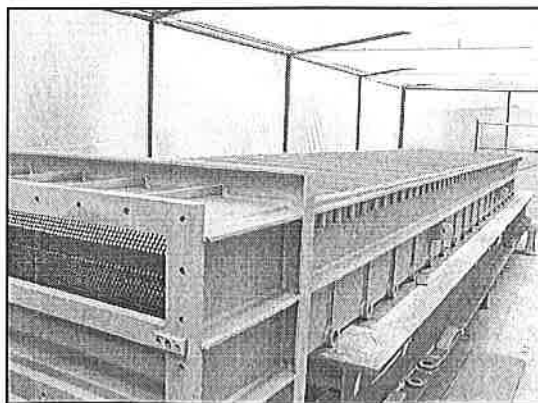
A szivárgásvizsgálatot több okból nem lehetett magában a szerkezetben végrehajtani:



1. ábra. Egy MSR fél fényképfelvételei



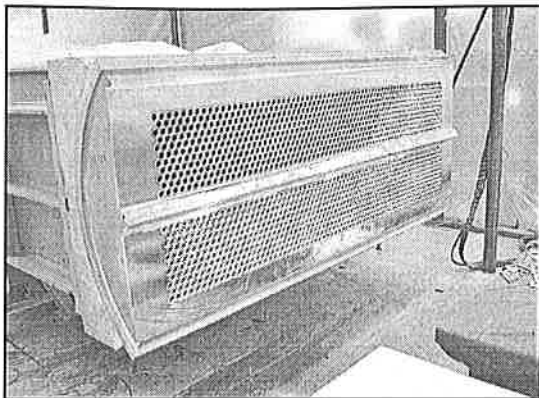
2. ábra. Tartókeret



3. ábra. Csőfal

* Lásd a 71. oldalon.

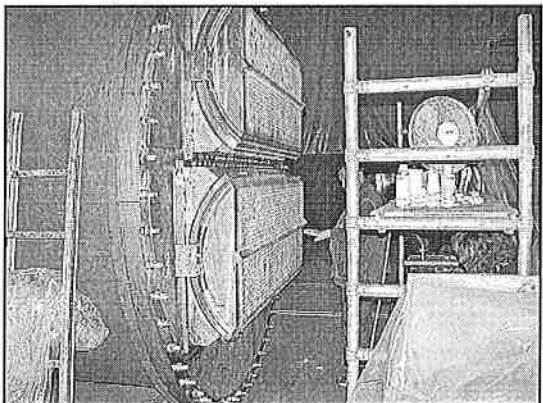
¹ ÁEF Anyagvizsgáló Laboratórium Kft.; ² ALSTOM Power Hungária Rt.



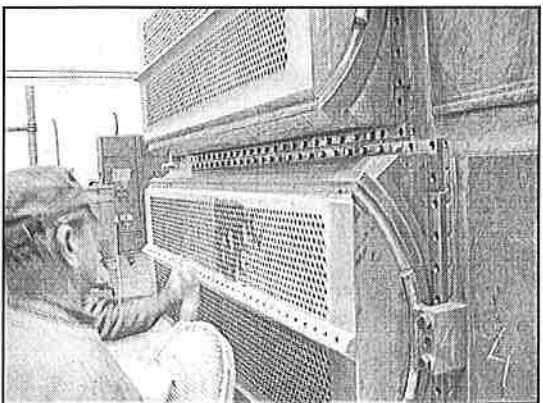
4. ábra. Csőfal a behegesztett csővégekkel



5. ábra. A vizsgáló tartály



6. ábra. A vizsgáló tartály és a csőfal



7. ábra. Az indikátor festék felvitele

- A beépítést követően a csőfal nem hozzáférhető.
- A csőfalat a kerethez hegesztéssel rögzítik, tehát a vizsgálat után már nem lett volna lehetőség a szétbontásra.
- Az ammónia nehezen lett volna eltávolítható.
- Nagyon nagy mennyiségű vizsgáló anyagra lett volna szükség.

A vizsgáló szerkezet. A két hőcserélő fokozat együttes, egyidejű fogadására alkalmas 9475 mm hosszú, 2800 mm átmérőjű tartály 20 mm vastag acéllemezéből készült, sík fenéklapokkal. A fogadó oldalon a csőfalnak megfelelő méretű kivágás és csavarokkal felfogható zárólecek biztosították a csőfal helyzetét és a tömítést. A tartályon belül kerek szerkezet segítette elő a közel 50 t súlyú csőfal beemelését. A vizsgáló tartály 60 m³, a beépített szerkezet ebből mintegy 5 m³-t foglal el.

A vizsgáló anyagokkal szembeni követelmények. Tekintette arra, hogy az MSR egykörös atomerőmű létesítménybe kerül beépítésre, a felhasznált anyagok tisztaságával szembeni követelmények rendkívül szigorúak voltak: a klór- és a halogéntartalomnak kevesebbnek kellett lenni, mint 200 ppm. A vonatkozó szabványok nem írják elő egyértelműen az indikátor anyagot, de a megrendelő ragaszkodott a bromofenol blue (C₁₉H₁₀Br₄O₅S) használatához. Azt a feltételt, hogy az indikátor a csőfalon hosszabb ideig fennmaradjon csak adalékolással lehet biztosítani. A bromofenol blue pH 3.6 alatt sárgaszínűvé válik, míg pH 4.2-nél „lúgosabb közeg” esetében kéké válik. A sárga színt az indikátor anyag savasságának beállításával biztosítják. Ezt a tulajdonságát az is igazolta, hogy csapvíz hozzáadásának a hatására (sőt még a szódavíz hatására is) az indikátor elkéklült. Magyarországon ilyen indikátor anyagot nem forgalmaznak, a sprayt japán licenc alapján Dél-Koreában gyártották. Az ecsettel felvihető indikátoranyag francia eredetű. A tisztasági előírások a hordozó gázokra is vonatkoztak, ezért nagy tisztaságú N₂ és NH₃ gázt használtunk, ami jelentősen megnövelte a vizsgálat költségeit.

Előzetes vizsgálatok

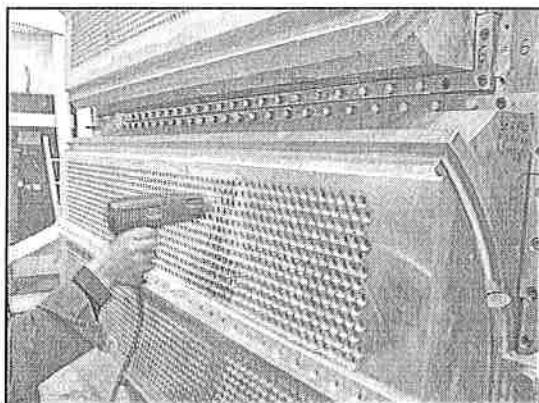
A téglalap alakú csőfalat körülvevő tömítést – 0,2 MPa túlnyomás mellett – szivárgásra a Proof Check folyadékkal (spray) ellenőriztük. A tömítést akkor fogadtuk el jónak, ha ezzel a módszerrel nem lehetett szivárgást kimutatni. A későbbiek során bebizonyosodott, hogy ez a módszer nem kellően érzékeny, de más gazdaságos megoldást nem találtunk.

Az első vizsgálatok során a tartályt N₂ – He 85/15 %-os keverékkel töltöttük fel, a csőfalat fóliával ragasztottuk le és 0,2 MPa túlnyomás mellett a fólia alatt összegyűlt He alapján kísértük meg indikálni a szivárgást. Szivárgás észlelésekor a leragasztott felület nagyságát fokozatosan csökkentettük és így próbáltuk lokalizálni a szivárgó csövet, csöveket. Ezzel a technikával az első vizsgálat alapján 1 szivárgó csövet sikerült kiszűrni, míg az ezt követő ammóniás vizsgálat további 5 csövet talált hibásnak. A sikertelenség okát elsősorban abban látjuk, hogy a tömítések mellett jelentős mennyiségű He került a levegőbe és a megemelkedett alapszinhez képest nem volt lehetséges a lokális szivárgások kimutatása. A kedvezőtlen tapasztalatok alapján a héliumos szivárgásvizsgálatokat egyetlen kísérlet után befejeztük.

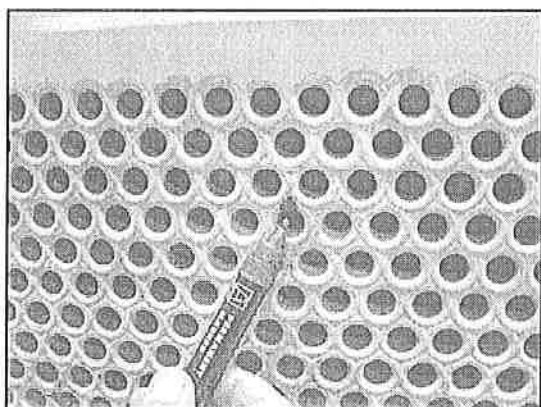
A csőfalak szivárgásvizsgálata

A csőfalak szivárgásvizsgálatai során a tartályt a 0,1 MPa nyomásra vákuumozást követően N₂-vel feltöltöttük kb. 0,8 MPa nyomásig, majd két palack NH₃ gázt bevittele után ismét N₂ gáz befúvásával állítottuk be az előírt 1,2 MPa vizsgálati nyomást. A két palack NH₃ biztosította a 15 térfogat % ammónia mennyiségét, míg a N₂ kétféles adagolásával volt elérhető a levegő – 15–28 % ammónia keverék kialakulása, ami robbanásveszélyes lehetett volna. A vizsgált csővégbepresselés 50 mm hosszú. Általános szabályként szokták elfogadni, hogy 10 mm-ként 1 óra a nyomáson tartás ideje, amit a megrendelő – szakértőjére hivatkozva – 10 órára emelt fel. Ehhez járul még: kb. 1/2 óra az indikátor anyag felhordása, 1/2 óra várakozási idő, 4–5 óra a tartály feltöltése, és kb. ennyi idő a leürítése és a tartály átöblítése. A leürítés során az ammóniát 2 db 1 m³-es tartályban nyeltük el. Az egyes technológiai műveletek idejének összeadásából kiderül, hogy egy-egy vizsgálat végrehajtásához 24 óra szükséges.

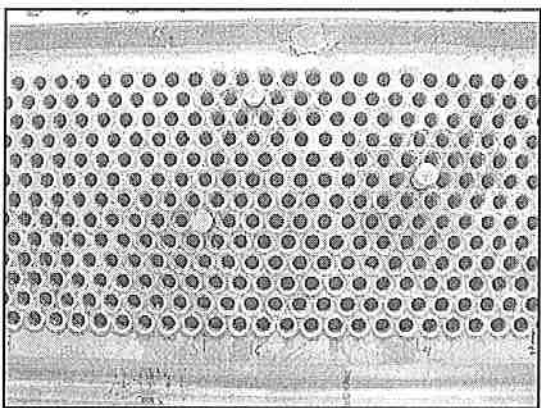
A vizsgálati eredményektől függően került sor a javításokra, amit a szivárgásvizsgálat megismétlése követett. A vizsgálat hosszadalmassága miatt



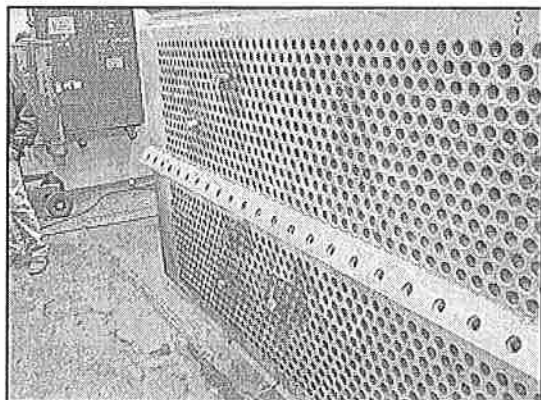
8. ábra. Száritási művelet



9. ábra. Kismértékű szivárgás (kis kék folt)



10. ábra. Szivárgó (dugózott) csövek és környezetük (enyhén kék)



11. ábra. A levegőben lévő ammónia

nem volt lehetőség arra, hogy erre az időtartamra a csarnokban folyó termelést felfüggesztjük, tehát nagy fokú, itt nem részletezett biztonsági intézkedéseket tettek a dolgozók védelme érdekében.

A csőfalra az indikátor anyagot spray és ecsetelhető (hengerezhető) festék formájában vittük fel. Az indikátor alapja a bromofenol blue, de ennél többet nem sikerült megtudnunk az összetevőkről. A sprayt a dobozán „Leak Color”, míg a műanyag kannában szállított festékeket szállító cég is „Reaktív NH_3 festék”-ként bizonyította. A festéket a felhordás után meleg levegővel kellett szárítani, hogy ne folyjon le a csőfalról.

Magát a szivárgást, az ammónia jelenlétét, négy módszerrel érzékeltük, nevezetesen: kézi műszerrel, szaglással, kénzalag égetésével és a bromofenol blue indikátorral.

A felsorolás sorrendje egyben érzékenységi mutatónak is megfelel. Kézi műszer segítségével az ammónia jelenléte megállapítható, de például az szivárgó cső helyzete nem határozható meg. Szaglással az egyes szivárgó helyek megtalálhatóak voltak. A kénzalag égetése során keletkező fehér füst és annak lecsapódása jól indikálta a szivárgó helyeket, de több esetben nem mutatta ki, vagy nem volt olyan egyértelmű a cső megtalálása, mint a festék indikátor használatakor. Igaz, hogy csak egy esetben, de előfordult, hogy a kénzalag égetésével találtunk meg olyan szivárgást, amit az indikátoroldat sem mutatott ki.

A következő felvételek (7 – 10. ábra) az indikátor oldatos vizsgálatok eredményeit szemléltetik míg a levegőbe került ammónia vizsgálatot követő, elszíneződést okozó hatása látható a 11–12. ábrákon.

Eredmények

A vizsgálatok alapján kiszűrtük a nem tökéletesen behegesztett csővégeket, és a javításuk megtörtént. Az első vizsgálat során észlelt hibák alapján (kb. a behegesztett csővégek 2%-a) módosítottuk a csővég tisztítási technológiáját is ezzel a javítandó csőszámot is csökkenteni tudtuk.

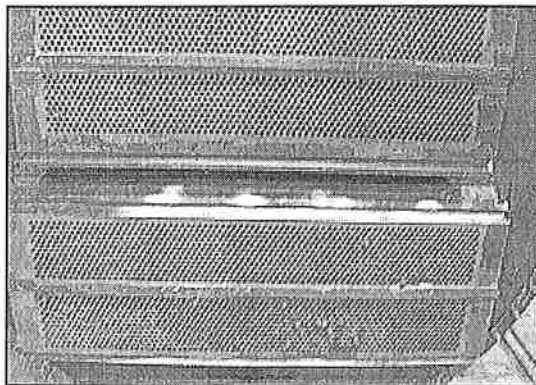
Mind a vizsgálatokat, mind pedig a terméket a megrendelő elfogadta.

Összefoglalás

Az ALSTOM Power Hungária Rt. megbízásából az ÁEF Laboratórium Kft. – az ammónia kezelésében nagy tapasztalattal rendelkező – Cool-Technique Kft. bevonásával olyan ammóniás szivárgásvizsgálatot végeztünk, amelyhez hasonló ismereteink szerint Magyarországon még senki sem hajtott végre.

A bromofenol blue meglehetősen drága indikátor, de nagyon jól használható és érzékenyen mutatja ki a legkisebb szivárgást is.

A következőkben a vizsgáló tartály csőfal tömítését célszerű javítani, mert a környezetbe kiszivárgó ammónia mellett nem lehet biztosítani, hogy a csőfal színe sárga maradjon a vizsgálatok teljes lezárásáig, ami követelmény, annak ellenére, hogy a szivárgás és a környezetben lévő ammónia egész más színváltozást és elszíneződési jeleket ad.



12. ábra. Környezeti hatás 1 óra elteltével okozta elszíneződések

Környezeti hatásokat szimuláló kamrák

A környezet éghajlati jellemzőinek és légszennyezőinek a termékek minőségére és élettartamára gyakorolt fizikai-kémiai hatásainak megismeréséhez – az időigényes, ún. kitéti vizsgálatok mellett – nélkülözhetetlenek a környezeti hatásokat szimuláló kamrákban a termékek fajtától függően elvégzett és többségében szabványosított vizsgálatok.

Ugyanis sokféleségüket tekintve a termékek anyaga egyrészt lehet, például fém vagy műanyag, felületük festett, galvanizált, zománczott vagy termokémiaileg kezelt, másrészt a termékek lehetnek élelmiszerek, kozmetikumok vagy gyógyszerek. Ugyanakkor a környezet termékekre gyakorolt hatásai is sokfélék lehetnek: megváltozhatnak anyagaik mechanikai tulajdonságai, optikai jellemzői (pl.: színük, fényességük stb.), oxidálódhatnak, korrodálhatnak, megváltozhatnak, például anyagi minőségük, állaguk. Ennek megfelelően a vizsgálati igények is szerteágazóak és változnak. Mindezek visszahatnak a környezeti hatásokat szimuláló vizsgálókamrák fejlesztésre is, úgy, hogy ma már vizsgálati igényeink szerint választhatunk a környezet célszerűen kijelölt jellemzőit szabályozottan szimuláló, automatizált, felügyelet nélkül is magára hagyható, hosszú élettartamú és csendes járású kompresszorral szerelt vizsgálókamrák közül.

A környezeti hatások gyors és hatékony megismerésre érdekében az Atestor Kft. a világ vezető gyártóinak korszerű vizsgálókamráit kínálja, nevezetesen: a hőmérsékletre szabályozott termosztátokat, a hőmérsékletre és páratartalomra szabályozott klímakamrákat, az UV- és napfény kamrákat, a sópermet, nedvesköd és Kesternich (kén-dioxid), illetve kombinált korróziós kamrákat.

Az olasz **Angelantoni Industrie S.p.A.** cég korszerű termékei közül elsősorban a leggyakrabban igényelt, PC-vel és monitorral szerelt **ACS Hygros®** és az érintőképernyővel szerelt **Challenge típuscsaládok klímakamráit** említjük (lásd a címdalon). A 66 alapmodell mindegyikének szabályozó és kezelő rendszere μ PLC alapú, és a Windows 2000 XD vagy NT alatt futó WinKratos® szoftverrel támogatott. A saválló acéllemez belésű vizsgálólétér térfogat-tartománya 16 – 2000 liter; a legnagyobb hőmérséklet $+180^{\circ}\text{C}$ és -40°C -ig egyfokozatú, míg -75°C -ig többfokozatú, csendes járású kompresszorral szerelt. A relatív páratartalom tartománya: 10–98%. A vizsgálólétér dupla falú mennyezete és fenéke, valamint a légkezelő rendszer együttesen biztosítják a kamrán belüli klímajellemzők egyenletes, kondenzációtól mentes és pontos szabályozását, minimális tehetlenséggel. Ezt segíti a zárt nedvesítő

rendszer, amely száraz vízgőzt állít elő, továbbá, legfőbb előnye, hogy nem igényli a víz előzetes desztillálását vagy ásványmentesítését. A légkezelő rendszer reakciós járókerekes ventilátora lehetővé teszi mind a légtér, mind a próbatest gyors hőmérsékletváltozását. Több kamra egy mester PC-vel hálózatra kapcsolható, azaz működésük akár egy helyi, akár egy távol lévő központból ellenőrizhető, vizsgálati ciklusaik és egyéb adataik naplózhatók. A kamrák mikroprocesszorának áramellátó rendszerébe az áramki-maradás ellen védő, ún. UPS kapcsolat is be van építve, így az adatgyűjtés és -tárolás folyamatos. A kamrák formatervezése az ergonomiai követelményeknek is megfelel.

Az Angelantoni cégtől speciális igényeket kielégítő, például hősokk és beégető kamrák, szél- és esőkamrák, magas légköri és űr viszonyokat szimuláló (-263°C) kamrák is rendelhetők. Mindezeket kiváló minőségben, összhangban az általuk választott, a természet tökéletességére utaló Nautilus szimbólummal.

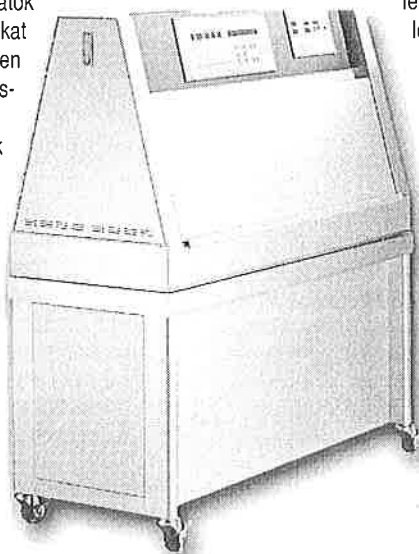
A Sheen Instruments Ltd. cég termékei közül figyelmükbe ajánljuk a következőket:

A **Q-Panel, QUV kamrák** (1. ábra) fénycsővei a napfény UV összetevőjének alacsonyabb, 340 nm hullámhosszúságú tartományát szimulálják, de

néhány napra csökkentik annak több hetes, hónapos károsító hatását. Három változatát gyártják: a Basic verzió nagyon egyszerű készülék, de a Solar Eye verzióval már precízen szabályozható a besugárzás intenzitása. Ezt egészíti ki vízpermet funkcióval a készülék Sray változata.

A **Q-Panel, Q-Sun kamrák** (2. ábra) Xe-lámpája a napsugárzás teljes spektrumát szimulálja. A kiegészítő Daylight vagy ablaküveg szűrővel a terméket a szabad levegőn vagy a zárt kirakatban tárolása közben ért napfény hatása szimulálható. Egylámpás asztali, illetve háromlámpás, saját lábain álló kivitelben gyártják. A kiépítettség függvényében választható a környezeti hőmérsékletet szimuláló alap, vízpermetes, illetve a relatív páratartalmat is szabályozó változat.

A Sheen **Fogmaster korróziós kamrák** (3. ábra) mind sópermet, mind nedvesköd, mind pedig sópermet, nedvesköd és szárítás funkciókat együttesen és ciklikusan szabadon programozható változatokban, 120, 450, 600 és 1000 literes vizsgálati térfogatban kaphatók. Kiépítettségük szerint kétfélék: a normál kivitelű kamra kezelőegysége hagyományos, míg a Pro változatnak multifunkcionális programozó egysége van, érintőképernyős és számítógépes kapcsolattal bír. A 120 literes kamra asztali kivitelű, míg a többi saját lábain álló készülék.



1. ábra



2. ábra



3. ábra

Mohácsi Gábor
Atestor Kft.

Bazaltszál-erősítésű fröccsöntött poliamid mechanikai tulajdonságainak vizsgálata

Deák Tamás** – Kovács József Gábor* – Szabó Jenő Sándor**

Abstract

Study of mechanical properties of basalt fibre reinforced polyamide. We have been examining the moulding shrinkage and the mechanical properties of basalt fibre reinforced injection moulded polyamide 6. Basalt is well known as a rock found in virtually every country around the world. It is mostly used by the building industry, but it can also be made into fine fibres. The basalt fibres, which were used for our experiments, have a special property: on the ends of the fibres there are small spheres, which have three to ten times the diameter of the fibre. Some of these spheres break off the fibres during processing. These spheres behave like fillers and influence both the mechanical properties of the composite. For our experiments we made composites with 30, 45 and 60 w% fibre content. We used two types of basalt fibres: one of them was the original, while the other one was washed, which means that most of the broken spheres were removed from it. Altogether we made six different materials. We did not add any adhesive or other additives to the composites. The main purpose of our examination was to find out the effect of using washed basalt fibres. We examined the mechanical properties through tensile, flexural, notched Charpy and SEN-T tests. The results show that washing the basalt fibres had an advantageous effect on all mechanical properties of the composite. The stiffness and strength of the basalt fiber reinforced PA 6 is better than that of the non-reinforced nylon, but its and toughness does not meet the requirements of the industrial applications. Its main reason is the lack of the adhesion promoter additives.

Bevezetés

A műanyagok részecskéikkel, száakkal vagy más megjelenési formájú természetes és mesterséges anyagokkal való töltése számos cél érdekében lehetséges, mint például valamilyen mechanikai tulajdonság (szilárdság, merevség, ütésállóság, kúszási hajlam) javítása, a zsugorodás csökkentése, kopásállóság, hőalaktartósság javítása, lángállóság, villamos vezetőképeség vagy antisztatikus viselkedés elérése, hőátviteli együttható csökkentése. A töltő- és erősítőanyagok közül a szákat elsősorban a mechanikai tulajdonságok javítására alkalmazzák. A kompozittechnika új anyagfajta – az általánosan elterjedt üvegszálat sok területen helyettesíteni képes – bazaltszál, amelynek néhány lényeges tulajdonságáról még viszonylag keveset tudunk. Ezek közé tartozik a bazaltszál-erősítés hatása a fröccsöntött műszaki műanyagok mechanikai tulajdonságaira.

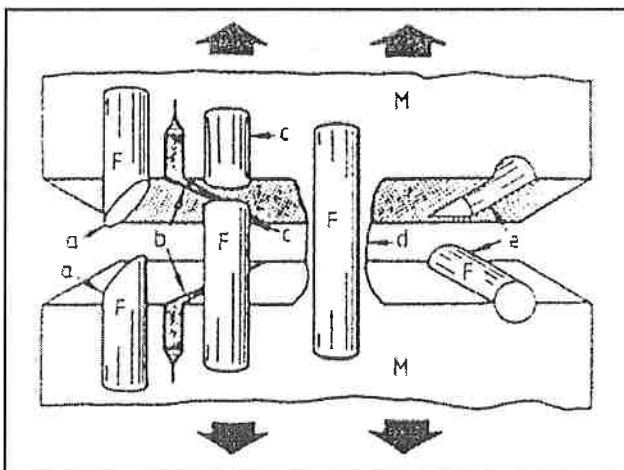
A bazaltszálat, mint a fröccsöntött hőre lágyuló műanyagok erősítőanyagát, már sokrétű vizsgálatoknak vetették alá, de elsősorban polipropilén mátrixba ágyazva. A poliamidot eddig ritkán próbálták mátrixként alkalmazni, annak ellenére, hogy jobb eredmények várhatók tőle. A poliamid önmagában jobb mechanikai és hőállósági tulajdonságokkal rendelkezik, mint a polipropilén. Ugyanilyen fontos szempont az is, hogy a poliamid és a bazalt egyaránt poláros molekulaszervezetű anyagok, ezért az általuk alkotott kompozitban könnyebb megvalósítani a megfelelő határfelületi kapcsolódást, illetve adhéziót javító adalékok nélkül is a tulajdonságok bizonyos mértékű javulása várható. Vizsgálataink célja a bazaltszállal erősített, fröccsöntött, poliamid mátrixú kompozit mechanikai tulajdonságainak felmérése volt több, különböző szálkonzentráció esetén. Ezzel kideríthető, hogy a bazaltszál önmagában (felületkezelés

nélkül) képes-e a jellemzők javítására, azaz hogy „mihez képest” lehetséges a tulajdonságok további javítása.

A polimer kompozitok fő jellemzői

A kompozit többlázisú, összetett szerkezeti anyag, amelyben a mátrix és a nagy szilárdságú erősítőanyag között jó adhéziós kapcsolat alakul ki, és az tartósan fennmarad. A kompozitokat olyan szerkezeti anyagként foghatjuk fel, amelyeknél az egyes alkotóelemek (a mátrix és az erősítőanyag) meghatározott feladatokat látnak el. A merevebb erősítőanyag az igénybevételtől függően húzásra vagy nyomásra van terhelve, míg a lágyabb mátrix elsősorban a terhelésátvitelt, másodsorban az erősítőanyaggal való együttdolgozást biztosítja és védi az erősítőszálakat. Ez a hatékony funkciómegosztás akadályozza meg a kompozit anyagból készült szerkezet gyors tönkremenetelét. Azért előnyös polimer kompozitokat alkalmazni, mert az azt alkotó komponensek igen eltérő tulajdonságúak lehetnek, de a teljes rendszer egyesítheti ezen eltérő tulajdonságokat. A polimer kompozitok mechanikai tulajdonságai az erősítőanyag és a mátrix jellemzői mellett a közöttük fellépő határfelületi kölcsönhatásoktól is függenek. Mind a mechanikai, mind pedig a termikus hatások következtében fellépő feszültségeket a szál és a mátrix között a határfelületi réteg közvetíti. Az adhézió mellett a tapadási felület nagysága is nagyon lényeges, ezért törekedni kell arra, hogy az erősítőanyag fajtájagos felülete minél nagyobb legyen.

A kompozitok mechanikai terhelés hatására létrejövő tönkremenetelének jellegzetes formái a 1. ábrán láthatók. Ezek közül a szálszakadás a legkedvezőbb, mert az lehetővé teszi az erősítőszál szakítószilárdságának teljes kihasználását. Ha a kompozit a szálszakadás bekövetkezése előtt tönkremegy, az azt jelenti, hogy valamilyen hiányosság fedezhető fel a szerkezetben, mint például a túlságosan rövid szálok, vagy az erősítőanyag és a mátrix közötti tapadás elégtelen volta.



1. ábra. Jellemző tönkremeneteli formák (M: mátrix, F: erősítőszál, a: szálszakadás, b: mátrix tépdés, c: szálkiválasztás, d: mátrix deformáció, e: rétegelválás) [1]

A bazaltszál

A bazalt igen gyakori, vulkanikus eredetű felszíni kőzet. Építőanyagként ősidők óta alkalmazzák. 1350 és 1700 °C közötti hőmérsékleten olvad meg, és hirtelen lehűtve majdnem teljesen amorf, üveges formában szilárdul meg. Lassú lehűtése egy többé-kevésbé kristályos, összetett szerkezetű ásványt eredményez, átlagos sűrűsége 2,7 g/cm³. Igen széles hőmérséklettartományban, -200-tól +600 °C-ig felhasználható.

* A BME Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék tanársegédje, ill.

** doktorandusza

Ennél magasabb hőmérsékleten az anyagban szerkezeti változások következnek be. Vegyi összetételét tekintve legfontosabb alkotóelemei a SiO_2 , az Al_2O_3 , a CaO , az MgO és a FeO . A bazalt, kémiai összetétele szempontjából, közeli rokonságban áll az üveggel. Az erősítőszálak gyártására használt E és S típusú üveggel való összehasonlítása az 1. táblázatban látható.

1. táblázat: A bazalt, az E és az S üveg átlagos összetétele, tömegszázalékban [4]

Vegyület (%)	E-üveg	S-üveg	Bazalt
SiO_2	52–56	65	51,6
Al_2O_3	12–16	25	18,2
CaO	16–25	–	5,2
MgO	0–5	10	1,3
B_2O_3	5–10	–	–
Na_2O	0,8	0,3	6,4
K_2O	0,8	0,3	4,5
TiO_2	–	–	1,2
Fe_2O_3	–	–	4
FeO	–	–	2,1

A bazaltot régóta dolgozzák fel bazaltgyapottá, hő- és hangszigetelési célból. Általánosan használják épületek tetőszerkezetének, ajtóknak és csöveknek a szigetelésére, de kipufogódob betéteket is készítenek belőle. Ezek a felhasználási területeken a bazaltnak elsősorban a jó rezgéscsillapító, vegyileg közömbös, korrózióálló, éghetetlen, gyakorlatilag korlátlan élettartamot adó tulajdonságait használják ki.

A bazaltszál kompozit-erősítőanyagként való alkalmazásának lehetősége először a volt Szovjetunióban merült fel egy úrhajózással kapcsolatos kutatási programban a nyolcvanas évek elején. Ma is Oroszországban és Ukrajnában állítják elő a legnagyobb mennyiségben a kimondottan erősítőanyagként szánt bazaltszálat [5,6].

A vizsgálatainkhoz használt bazaltszálat a tapolcai székhelyű Toplan Kft. gyártja. Az alkalmazott eljárás a svéd Junkers-technológiát részint olasz, részint saját fejlesztéssel ötvözve alakult ki. A lényege, hogy a körülbelül 1580 °C-os olvasztási hőmérsékleten dolgozó gáztüzelésű kádkemencéből kikerülő olvadátkot a három centrifugafejes, vízszintes tengelyű szárazó-berendezésre vezetik (2. ábra). A felső, kisebb henger a gyorsítóhenger, ennek feladata az olvadék felgyorsítása a lejjebb látható szárazóhengerek számára. A fejekre tapadt láva egy része a centrifugális erő hatására lerepül és a fúvókákból rábocsátott nagy se-

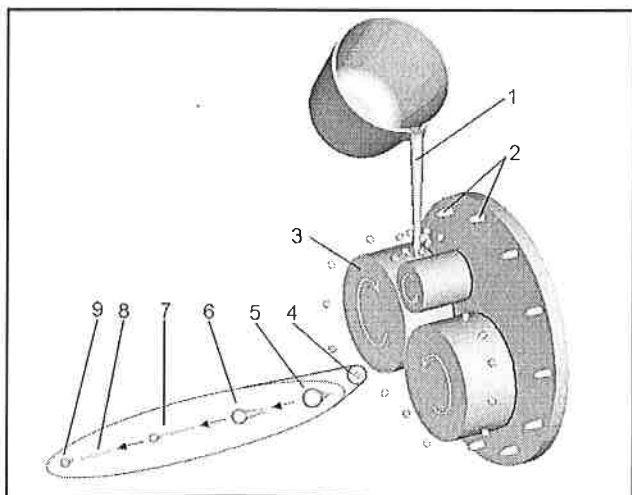
bességű levegőáram a viszkozus folyadékból szálat húz. Ez a szál a hirtelen hőmérséklet-változás hatására üveges fázisú anyaggá szilárdul, s ennek során a szálak végein, azok hosszától függően, kisebb-nagyobb szálfejek maradnak. A szálfejek nagy része még ülepítéskor letörik, azonban a kisebbek a szálakon maradnak. A kompozitban a szálon maradó szálfejek szívósság-növekedést okoznak, mivel akadályozzák a szálak kihúzódnását. A letört szálfejek viszont, gyenge helyként viselkedve, repedések kiindulási pontjai lehetnek. A szárazás során változtatható az olvadék összetételét (általában 5–10% dolomitot tartalmaz) és hőmérsékletét, a szárazó-berendezés egyes fejeinek fordulatszámát és a lefúvási sebességet. A szárazó-berendezés kapacitása 1–3 tonna/óra [7]. A vizsgálatainkhoz használt bazaltszálak szálmérője 6–20 μm , átlagos szálhosszúsága 5 mm körül volt.

Szálerősítésű műanyagok fröccsöntése

A hőre lágyuló műanyagokat természetes (kender, juta, len, gyapjú, kókusz), vagy üveg-, szén-, kerámia-, aramid- és acélszálakkal erősíthetik. A legelterjedtebb szálfajta az üvegszál, viszonylagos olcsóságának köszönhetően. Mátixanyagként az erősítőszálakat jól nedvesítő, a szálakkal igen jó tapadást biztosító poliamidot és az olcsó polipropilént részesítik előnyben. A szálerősítésű műanyagok fröccsöntése során a szálvégek forgácsoló hatást fejtenek ki, emiatt erősen koptatják a plasztikáló henger falát, a csigadugattyú és a szerszám felületét, valamint a fúvókát. A koptató hatást az erősítőszálak száma és orientációja, valamint az ömledék viszkozitása határozza meg. A szálerősítésű műanyagok fröccsöntéséhez rendkívül kopásálló plasztikáló hengert és csigát kell alkalmazni.

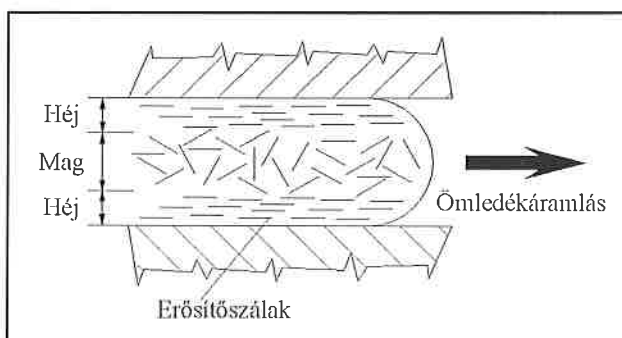
A szálerősített hőre lágyuló műanyagok tulajdonságait alapvetően a szálak hosszúsága befolyásolja. A rövid szálakkal erősített műanyagokban a szálak hossza 0,2–0,4 mm. A plasztikálás és a befröccsentés során a csiga meneteiben és a szerszámban erőteljesen töredeznek a szálak, átlagos hosszúságuk ekkor csökken 0,2–0,4 mm-re. Ez azonban jóval a maximális szilárdságot biztosító kritikus szálhossz alatt van, azaz a rövid szálakat eredményező fröccsöntés nem aknázza ki az anyagban rejlő lehetőségeket. Az optimális szálhosszúság mintegy 3–6 mm, az ilyen méretű szálakkal erősített anyagokat hosszúszálasnak nevezik. A hosszúszálas-erősítésű műanyagok szilárdsága 120%-kal is meghaladhatja a rövidszál-erősítésű műanyagokét, de az ennél hosszabb szálak gyakorlatilag már nem növelik tovább az anyag szilárdságát. A hosszúszálas kompozitok fröccsöntése azonban speciális berendezést és technológiát igényel, ami nagymértékben eltér a hagyományos fröccsöntés módszereitől.

Technológiai szempontból meghatározó jelentőségű az orientáció és a mag-héj szerkezet kialakulása. A szerszámműreg kitöltése során a műanyagömledék egy része a fal mellett igen gyorsan megdermed, ebből alakul ki a héj, míg a szerszám felületétől távolabb eső, ún. mag részben lassabban dermed meg, már csak a szerszámműreg teljes kitöltése után. A héjban az erősítőszálak gyakorlatilag a folyás irányába rendeződnek, míg a magban általában véletlenszerűen, esetenként pedig a folyási irányra merőlegesen helyezkednek el (3. ábra). A termékben létrejövő, a folyási irányhoz viszonyított, átlagos szálorientációt a mag és a héj vas-



2. ábra. Junkers-féle szálglyártási technológia vázlata [7]

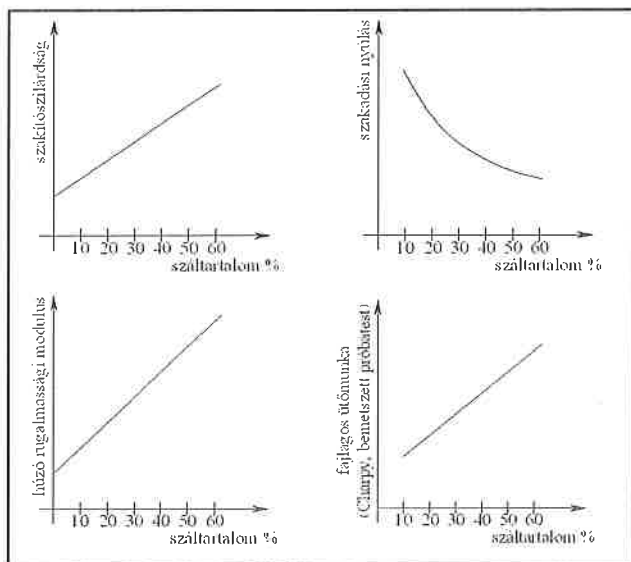
1: megolvasztott bazaltkő, 2: levegő fúvókák, 3: szárazó hengerek, 4: cseppek, 5–7: szálképződés folyamata, 8: szál, 9: szálfej



3. ábra. A mag-héj szerkezet kialakulása

tagságának aránya határozza meg. Minél nagyobb a befröccsentési sebesség, azaz minél gyorsabban áramlik az ömledék, annál kisebb lesz a héj vastagsága, ennél fogva annál kisebb lesz az átlagos szálorientáció.

Irodalmi adatok alapján a száltartalom hatását a mechanikai tulajdonságokra a 4. ábrán látható diagramokban lehet összefoglalni [3, 8–10]. A száltartalom növelése közel lineárisan növeli a merevséget, de ez együtt jár a szakadási nyúlás csökkenésével. A szilárdság és a hornyolt próbatesteken mért fajlagos ütmunka szintén lineáris növekedést mutat. A termék falvastagsága is befolyásolja a merevséget és a szilárdságot: általában minél nagyobb a falvastagság, annál vékonyabb a héj a maghoz képest, így annál kisebb a szálorientáció. Ez a húzó és a hajlító rugalmassági modulus, valamint a szakítószilárdságot is csökkenti. A százhossz és a száltartalom között is van összefüggés: a fröccsöntés során a szálak közötti kölcsönhatás is szálterevezést okoz, így a száltartalom növelése az átlagos százhosszúság csökkenésével jár.



4. ábra. A szál erősítés hatása a mechanikai tulajdonságokra

Mechanikai vizsgálatok

A vizsgálatokhoz három különböző száltartalommal, összesen hatféle alapanyagot állítottunk elő. A mátrix a Bayer AG által gyártott Durethan B30S márkajelű PA 6 volt. Erősítőanyagként a Toplan Kft. által gyártott bazaltszálat használtuk, kétféle formában: egyrészt eredeti formájában, másrészt pedig mosott állapotban. Ez utóbbit azt jelenti, hogy a szálat vízbe áztatva, a szálszálakról letört szálszálak nagy részét eltávolítottuk. Vagy is, a mosott bazaltszál alapanyagokban, azonos száltartalom mellett, lényegesen kevesebb szálszál van. Vizsgálataink egyik fő célja az volt, hogy megállapítsuk, milyen hatása van a bazaltszál kimosásának, mert noha ettől kedvező változások várhatók, a mosás időigényes technológia, emellett jelentősen növeli a költségeket. Mindkét szálfajtával 30, 45 és 60 tömegszázalék szál tartalmú granulátumot készítettünk (2. táblázat). A szál bekeverését Brabender Plasti-Corder PL 2100 típusú, kétszágas keverőextruderrel végeztük.

2. táblázat: A bazaltszál keverékek fő adatai és jelölése

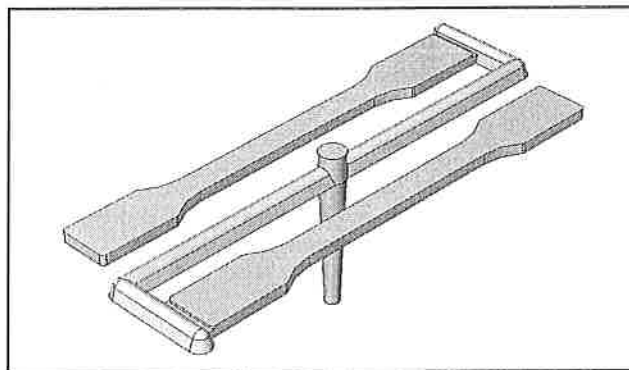
Sorszám	Bazaltszál tartalom tömeg%	Bazaltszál típusa	Jelölés
1	30	tisztított	T 30
2	45	tisztított	T 45
3	60	tisztított	T 60
4	30	nem tisztított	N 30
5	45	nem tisztított	N 45
6	60	nem tisztított	N 60

Összehasonlítás céljából az erősítetlen mátrixanyagból (jele: PA6 vagy töltetlen) is készítettünk próbatesteket. A próbatesteket kétféleképpen készítettük: Arburg 270 C 500–250 típusú fröccsöntőgéppel.

A mechanikai és törésmechanikai tulajdonságok összehasonlíthatósága érdekében valamennyi anyagmintán szakító-, hárompontos hajlító-, valamint bemetszett próbatestekkel ütéssel hajlító és törésmechanikai szakító- (SEN-T) vizsgálatokat végeztünk.

Szakítóvizsgálat

A szakítóvizsgálatokat az MSZ EN ISO 527 szabvány előírásai alapján végeztük. A téglalap keresztmetszetű próbatest szabványos kialakítása az 5. ábrán látható. A mérés eredményeként kapott erő-elmoz-



5. ábra. Szabványos szakítópróbatest

dulás ($F-\Delta l$) görbéből határoztuk meg a feszültség-relatív nyúlás ($\sigma-\epsilon$) görbét. A σ_{MAX} húzószilárdság az F_{MAX} (N) maximális erő és a próbatest kiindulási keresztmetszetének a hányadosa:

$$\sigma_{MAX} = \frac{F_{MAX}}{A_0} \quad (1)$$

Az ϵ_B szakadási nyúlás a szakadás pillanatában mérhető fajlagos nyúlás. Ez a mennyiség sokat elárul az adott anyag szívósságáról: általában minél nagyobb a szakadási nyúlás, annál kevésbé rideg és törékeny a vizsgált anyag. A méréseket Zwick 2020 típusú univerzális szakítógépen végeztük, 100 mm befogási hosszal és 2 mm/perc szakítási sebességgel. Minden anyagból 5 próbatestet vizsgáltunk, majd ezeket a húzószilárdság szerint rangsorolva, a sorból legnagyobb és legkisebb értéket elhagyva, a fennmaradó 3 próbatest jellemzőinek átlagát és 95%-os konfidencia intervallumra vonatkozó szórását számítottuk ki. A szakítógörbék alapján minden anyagra kiszámítottuk a húzószilárdságot, a rugalmassági modulus és a szakadási nyúlást. Az eredmények a 3. táblázatban foglaltuk össze. Az erősítetlen poliamid próbatesteket 35% fajlagos nyúlásig nyújtottuk, s noha ezalatt elérték az erőmaximumot, nem szakadtak el. Irodalmi adatok szerint a PA 6 szakadási nyúlása 50% körül van [2].

3. táblázat: A szakítóvizsgálatok eredményei

Anyagtípus	Húzószilárdság σ_{MAX} (MPa)	Rugalmassági modulus E (GPa)	Szakadási nyúlás ϵ_B (%)
T30	59,6±1,49	4,54±0,12	3,32±0,33
T45	64,3±0,16	6,12±0,04	2,01±0,01
T60	67,7±0,86	7,57±0,23	1,57±0,08
N30	48,1±0,21	4,03±0,02	4,08±0,21
N45	51,0±0,85	5,42±0,10	1,63±0,02
N60	52,9±0,34	7,18±0,07	1,12±0,01
PA 6	58,1±0,13	2,07±0,05	nem szakadt

Értékelve az eredményeket a következők állapíthatók meg: A száltartalom és a szilárdsági tulajdonságok közötti összefüggések menete megegyezik a szál erősített anyagokra általában jellemzővel (4. ábra). A

tisztított bazaltszállal erősített anyagok húzószilárdsága és rugalmassági modulusa – a kisebb szálfajtartalom következményeként – felülmúlja a nem tisztítottal erősített anyagokét, viszont az eltérő szálfajtartalom a szakadási nyúlást nem befolyásolja nagy mértékben. Az erősítetlen poliamidhoz képest a tisztított bazaltszállal-erősítés növeli az anyag húzószilárdságát, viszont a nem tisztított bazaltszállal-erősítés gyengíti a poliamidot. Ez a szálfajtartalomtól függetlenül igaz. A poliamid rugalmassági modulusát a 30%-os bazaltszállal-erősítés a kétszeresére növelte, a további növekedés pedig a szálfajtartalom függvényében közel lineáris.

Összességében elmondható, hogy a bazaltszállal kompozitok szilárdságának és merevségének a szálfajtartalommal való összefüggése összhangban van a szálerősítésű kompozitokra általánosan érvényes törvényszerűségekkel. A mosott bazaltszállal megnövelte a poliamid húzószilárdságát (mintegy 2,6–16,5%-kal), ezzel szemben a nem mosott bazaltszállal csökkentette a szilárdságot. Ez annak a következménye, hogy alapvetően csak a sima és fejes szálak növelik a szilárdságot, míg a leszakadt szálfajok – amelyek kis fajlagos felületen tapadnak a mátrixhoz – gyenge helyként viselkedve csökkentik a teherviselő keresztmetszetet. Tönkremenetelkor a poliamid gyakran a szálfajok mentén válik szét, ami sok esetben szabad szemmel is megfigyelhető a törethelyeken. Mivel a szálfajok gyenge adhéziójuk ellenére megnövelik a merevséget, a rugalmassági modulus a mosott és a nem mosott bazaltszállal anyag esetében is meghaladja a mátrixanyagét. A bazaltszállal kimosása a húzószilárdságra és a merevségre egyaránt kedvező hatást gyakorol.

Hárompontos hajlítóvizsgálat

A hárompontos hajlítóvizsgálatokat az MSZ EN ISO 178 szabvány alapján, Zwick Z020 típusú univerzális terhelőgépen végeztük, a következő paraméterekkel: vizsgálati sebesség: $v = 2$ mm/perc, alátámasztási távolság: $L = 64$ mm, próbatest vastagsága: $h = 4$ mm, próbatest szélessége: $b = 10$ mm, határléghajlás: $s = 6,4$ mm. A mérésekhez ugyanolyan próbatesteket használtunk, mint a szakítóvizsgálatokhoz. Minden anyagból 5 próbatestet vizsgáltunk, majd ezeket a hajlítószilárdság szerint rangsorolva, a sorból legnagyobb és legkisebb értéket elhagyva, a fennmaradó 3 próbatest jellemzőinek átlagát és 95%-os konfidencia intervallumra vonatkozó szórását számítottuk ki. Az egyes anyagok σ_{IM} hajlítószilárdsága és E_I hajlítómodulusa a 4. táblázatban látható. A maximális (törési) lehajlásoknál az s azt jelenti, hogy a próbatestek a határléghajlásig nem törtek el.

4. táblázat: A hárompontos hajlítóvizsgálat eredményei

Anyagtípus	Hajlítószilárdság σ_{IM} (MPa)	Hajlítómodulus E_I (GPa)	Max. lehajlás s_{max} (mm)
T30	98,22±0,39	4,06±0,01	s
T45	101,42±0,29	5,78±0,07	4,8
T60	106,47±0,33	8,51±0,11	3,2
N30	80,12±0,51	3,49±0,01	s
N45	87,85±0,37	5,16±0,03	5,2
N60	86,71±0,12	7,85±0,11	2,9
PA 6	66,90±0,24	2,05±0,01	s

A bazaltszállal kimosásának előnye mind a hajlítószilárdság, mind a hajlítómodulus tekintetében megmutatkozik. A hajlítómodulus megközelítőleg lineáris növekedése a szálfajtartalom függvényében megfelel az általános tapasztalatoknak [3, 8]. A nem tisztított bazaltszállal anyag hajlítószilárdsága szintén növekszik a szálfajtartalommal, azonban az N60 valamivel kisebb értéket mutat, mint az N45. Ez a 60%-os (nem mosott bazaltszállal) rendszer erős túltelítettségére enged következtetni. A hajlítószilárdságot – a húzószilárdsággal szemben – a bazaltszállal alkalmazása minden esetben megnövelte az erősítetlen poliamidhoz képest, ez általában a kevésbé jó minőségű töltő- és erősítőanyagokkal is megtörténik, így ebből nem lehet messzemenő következtetéseket levonni.

Az eredményeket összefoglalva a hajlítóvizsgálattal kapcsolatban a

következőket állapíthatjuk meg: a bazaltszállal kompozitok közül hajlítószilárdság és hajlítómodulus szempontjából egyaránt a T60 bizonyult a legjobbnak. A tisztított bazaltszállal előnye szembevetendő: a T30 szilárdsága nagyobb, mint a legnagyobb szilárdságú, nem mosott bazaltszállal anyagé. Az anyagok szívósságát jól jellemzi, hogy amíg a 45 és 60%-os bazaltszállal-erősítésű kompozit próbatestek a vizsgálat során eltörtek, addig a 30%-os látható változás (törés, repedés) nélkül elérte a határléghajlást.

Ütve hajlító vizsgálat

A Charpy-féle ingás ütőműves vizsgálat a dinamikus mechanikai vizsgálatok közé tartozik. Az inga helyzeti energiája a törés pillanatában átalakul mozgási energiává, így a törés előtti és utáni mozgásállapot összehasonlításából megállapítható a próbatest által elnyelt energia. Ezt a próbatest keresztmetszetére vonatkoztatva kapjuk a fajlagos ütőmunkát. Bemetszett próbatesteken végzett ütővizsgálat esetén az a_{cN} (kJ/m²) fajlagos ütőmunkát az alábbi egyenlettel kell kiszámítani:

$$a_{cN} = \frac{E_{total}}{h \cdot (b - a)} \quad (2)$$

ahol E_{total} (J) a próbatest által felemészített teljes energia, b (mm) a próbatest szélessége, h (mm) a próbatest vastagsága és a (mm) a bemetszés mélysége.

A méréseket az ISO 179 1:2000 (E) szabvány alapján végeztük, Ceast DAS 8000 típusú ütőművön, 15 J-os kalapáccsal. Minden anyagból 5 szabványos próbatestet használtunk fel. Ezeket 45°-os, 1-től 5 mm-ig mm-enként növekvő mélységű bemetszésekkel láttuk el. A bemetszések lekerekítési sugara 0,25 mm, a próbatestek megtámasztási távolsága 62 mm volt. Mindegyik próbatestre kiszámítottuk az a_{cN} fajlagos ütőmunkát. Ebből minden anyagtípusnál elhagytuk a legkisebb és a legnagyobb értéket és kiszámítottuk a fennmaradó 3 átlagát és a 95%-os konfidencia intervallumhoz tartozó szórását. Az eredményeket az 5. táblázatban foglaltuk össze.

5. táblázat: Az ütve hajlító vizsgálat eredményei

Anyagtípus	Fajlagos ütőmunka a_{cN} (kJ/m ²)
T30	3,01±0,1
T45	4,18±0,19
T60	4,08±0,08
N30	3,28±0,2
N45	3,79±0,08
N60	3,69±0,1
PA 6	6,26±1,89

A fajlagos ütőmunka növekedése a szálfajtartalom függvényében általánosan jellemző a szálerősítésű műanyagokra. A 60% szálfajtartalmú kompozitok fajlagos ütőmunkája ezzel szemben körülbelül egyenlő a 45%-osával, illetve némileg alacsonyabb. Ennek oka a 60%-os kompozit túltelítettségére. A bazaltszállal tisztításának előnye megmutatkozik a 45 és a 60% bazaltszállal erősített poliamidnál, ezzel szemben a 30%-osnál a nem mosott bazaltszállal eredményez nagyobb ütőmunkát. A bazaltszállal anyagok között a legjobb eredményt a tisztított 45%-ossal érték el. A bazaltszállal erősített anyagok között nincs jelentős különbség, a legnagyobb (T45) és a legkisebb érték (N30/60) között az eltérés mindössze 32%.

Statikus törésmechanikai vizsgálat

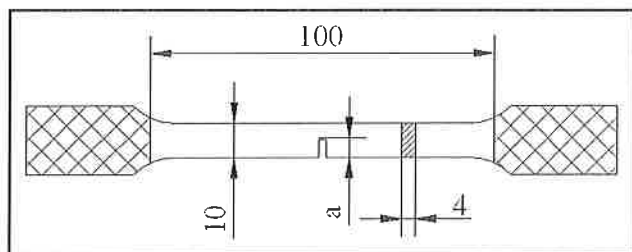
A statikus törésmechanikai vizsgálatokat a 6. ábrán látható SEN-T próbatesteken végeztük. A SEN-T próbatest abban különbözik a szakítópróbatéstől, hogy a közepén egy 2-4 mm mélységű, keresztirányú éles bemetszés található. A törésmechanikai vizsgálatok és így a SEN-T vizsgálat alapján meghatározható legfontosabb mérőszám a K_{IC} kritikus feszültségintenzitási tényező, amely a repedésterjedésre való hajlam mérőszáma és a repedéscsúcs környezetében jellemzi a feszült-

ségmezőt. A kritikus feszültségintenzitási tényezőt a próbatetek egyenletes sebességű szakítóvizsgálata során regisztrált erő-elmozdulás ($F-\Delta$) görbéhez tartozó F_{MAX} (N) maximális erőérték alapján számítottuk ki az alábbi egyenlettel [11]:

$$K_C = \frac{F_{MAX}}{h \cdot b} \cdot \sqrt{a} \cdot f(a/b) \quad (3)$$

ahol h (mm) a próbatest vastagsága, b (mm) a próbatest szélessége, a (mm) a bemetszés mélysége, az $f(a/b)$ pedig a geometriai korrekciós tényező, amely az alábbi egyenlet alapján számítható:

$$f(a/b) = 1,99 - 0,41(a/b) + 18,7(a/b)^2 - 38,48(a/b)^3 + 53,85(a/b)^4 \quad (4)$$



6. ábra. SEN-T próbatest geometriája

A méréseket Zwick Z020 típusú univerzális terhelőgépen, 2 mm/min szakítási sebességgel, a szakítóvizsgálattal megegyező elrendezéssel végeztük. Minden anyagból 5 próbatestet vizsgáltunk, majd ebből a legkisebb és a legnagyobb értéket elhagyva, a fennmaradó három átlagát és 95%-os konfidencia intervallumhoz tartozó szórását számítottuk ki. Az eredményeket a 6. táblázatban foglaltuk össze.

6. táblázat: A SEN-T vizsgálat eredményei

Anyagtípus	Krit. fesz.intenzitási tényező K_C (MPa·m ^{1/2})
T30	4,17±0,05
T45	3,76±0,05
T60	3,92±0,02
N30	3,74±0,02
N45	3,49±0,06
N60	3,28±0,03
PA6	5,33±0,21

A bazaltszál-as kompozitok kritikus feszültségintenzitási tényezője között nincs lényeges különbség (a legnagyobb eltérés mindössze 21%), illetve enyhén csökkenő tendencia figyelhető meg. A mosott szálak alkalmazása itt is a tulajdonságok javulását eredményezte. A mosott bazaltszál előnye a nem mosotthoz képest annak tulajdonítható, hogy a nem mosott szálban nagyobb mennyiségben előforduló, a szálvégekről letört szálfejek repedések kiindulópontjaként szolgálnak.

Összefoglalás

A vizsgált anyagok közül a 60% bazaltszál-as kompozitnál számos probléma merült fel a felületi minőséggel kapcsolatban a nagy száltartalom következtében. A próbatetek felülete gyakran egyenetlen, érdes volt és fehér vagy szürke színű, a fa érzetűre emlékeztető fátyolosság volt megfigyelhető. Emellett a 60%-os anyag – noha szilárdsági értékei igen jók – meglehetősen rideg és törékeny, ami a szakadási nyúlásban és a maximális (törési) lehajlásban (4. táblázat) is megmutatkozik. A 60%-os bazaltszál-as erősítésű kompozit – noha kedvező tulajdonságokkal rendelkezik – túltelített, gyakorlati felhasználásra alapvetően alkalmatlan.

A bazaltszál-tartalom növelése mind a hajlító-, mind a húzószilárdságot megnövelte. A mosott bazaltszál alkalmazása valamennyi mechani-

kai tulajdonság szempontjából jelentős előnyökkel jár. A húzó és hajlítási rugalmassági modulus megközelítőleg lineárisan növekszik a száltartalommal. A szakítóvizsgálatokból kapott eredmények (húzószilárdság, rugalmassági modulus és szakadási nyúlás) és a hajlítómódulus száltartalomtól való függése megfelel az általános tapasztalatoknak. A 45%-os kompozit fajlagos ütőmunkája jelentősen meghaladja a 30%-osét, ugyanakkor a 45 és a 60%-os között nincs jelentős különbség. A SEN-T vizsgálattal megállapított kritikus feszültségintenzitási tényező tekintetében csak kis különbség állapítható meg a bazaltszál-as kompozitok között, de a tisztított bazaltszál alkalmazásának előnye itt is jól látható. Az optimális száltartalom valahol a 30 és a 60% között lehet: a 30%-os mechanikai tulajdonságai viszonylag szerények voltak, míg a 60%-os rendszer túltelített, a belőle készült termékek felületi minősége elfogadhatatlanul rossz. Összességében megállapítható, hogy ha a 60%-os bazaltszál-as kompozitot elhagyjuk az összehasonlításból, a mechanikai tulajdonságok tekintetében a T45 a legjobb.

Hivatkozások

- [1] K. Pölöskei, Sz. Matkó, T. Czigány, Gy. Marosi: Szál-mátrix határ-felületi adhézió vizsgálata bazaltszál-erősítésű polipropilén kompozit rendszerekben, *Műanyag és Gumi*, 2003, 5, p. 145-149.
- [2] T. Czvikovszky, P. Nagy, J. Gaál: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000
- [3] D. M. Bigg, D. F. Hiscock: High performance thermoplastic matrix composites, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 1988, 1, p. 146-160.
- [4] J. Militky, V. Kovacic: Ultimate Mechanical Properties of Basalt Filaments, *Textile Res. J.*, 1996, 4, p. 225-229.
- [5] W. B. Goldworthy: New basalt fibre increases composite potential, *Composites Technology*, 2000, July-August p. 15-16.
- [6] www.basaltfibre.com/eng
- [7] T. Czigány, Gy. Marosi: Bazaltszál-erősítésű polimer kompozit szerkezeti anyag kifejlesztése, *Műanyag és Gumi*, 2003, 5, p. 139-144.
- [8] J. L. Thomason, M. A. Vluc: Influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre-reinforced polypropylene 1, *Composites Part A*, 1996, 27A p. 477-484.
- [9] D. McNally: Short fiber orientation and its effects on the properties of thermoplastic composite materials, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, 1977, 8(2) p. 101-154.
- [10] J. L. Thomason: Influence of fiber length and concentration on the properties of glass fibre-reinforced polypropylene 5, *Composites Part A*, 2002, 33, p. 1641-1652.
- [11] T. Czigány, J. Marosfalvi: Poliamid 6 törésmechanikai vizsgálata a hőmérséklet és az igénybevételi sebesség függvényében, *Műanyag és Gumi*, 1998, 9, p. 284-288.

Műanyagokhoz

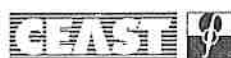


COLLIN és



FERROMATIK
MILACRON
Europe

feldolgozógépek,



és



INSTRON

vizsgálógépek és -eszközök

széles választékát kínálja



Budapest I., Aladár u.19.

www.atestor.hu

Frontális polimerizációval előállított kompozit morfológiai vizsgálata

Lovrity Zita¹ – Dr. Gácsi Zoltán² – Dr. Nagy P. István³ – Kovács Jenő² – Dr. Barkóczy Péter²

Bevezetés

Az elmúlt néhány évtizedben megfigyelhetjük a *kompozit anyagok* mindennapi életünkben való elterjedését és széles körű felhasználását. A gyakorlati életben a legelterjedtebbek közé tartoznak a polimer-mátrixú kompozitok, amelyekből ütésálló és frikciós termékeket, illetve geotextiliákat készítenek. A polimer-mátrixú kompozitok előnye a kis sűrűség (1-1,8 kg/m³), a nagy szilárdság, a jó korrózióállóság, valamint az elektromos szigetelőképesség. A polimer-mátrixú kompozitoknak jelenleg csak kis hányadát alkotják a fémtartalmú kompozitok. Az ilyen anyagokat féltárcsák, optoelektronikai eszközök mellett gyógyászati protézisek készítésére használják.

A *frontális polimerizáció* a polimer előállításának egy speciális módszere, amely egy lépésben valósítható meg és oldószerves, ezáltal környezetkímélő folyamat. Előnye, hogy nem igényel állandó keverést vagy melegítést, mint a hagyományos polimerizációs eljárások. Megfelelő monomerek és iniciátor megválasztásával elérhető, hogy a polimerizáció mozgó front formájában haladjon végig a monomerek elegyén, így a front mögött a kész polimer vagy kopolimer állítható elő. A polimerizációs front csupán néhány milliméter vastag reakciózóna, amely kis térfogatú szeletekre osztja a reakcióedényt. Így a polimerizáció nem egyszerre – a reakcióedény teljes térfogatában – játszódik le, hanem a reakció közegén egyenletes sebességgel végigvonul, s a reakció körülmények szempontjából stacionáriusnak tekinthető keskeny frontzónában megy végbe.

A frontális polimerizáció egyaránt alkalmas szál- és részecske-erősítésű kompozitok előállítására. Kifejlesztettek folyamatos hőkezelési eljárásokat grafit-szál-erősítésű kompozitok gyártására [1], ekkor az exoterm polimerizációs reakció tulajdonképpen hőkezelésre szolgál. A frontális polimerizáció másik érdekes tulajdonsága, hogy a legtöbb adalékanyaggal lehet kompozitot készíteni különleges társító anyagok nélkül, mivel itt nem jelentkeznek felületi problémák az előállításkor. A kiindulási monomerelegyebe bekeverhetők fém-oxidok (Al₂O₃, SiO₂, CuO), szulfidok, boridok, karbidok és fémporok is. Grafit és különböző fémporok hozzáadásával elektromosan vezető kompozitokat állítottak elő frontális polimerizációval [2]. Egyszerűen és olcsón készíthető ezzel az eljárással oxidbronz tartalmú kompozit, ami elektrokémiai rendszerekben jelzőelektrodként alkalmazható [3]. A megfelelően megválasztott monomerekkel IPN (Interpenetrating Polymer Networks) típusú anyagok is készíthetők frontális polimerizációval egyszerűen, mivel egyetlen front alakul ki, melyben a két polimerizációs folyamat sebessége egyenlő [4]. Ez a kétkomponensű polimerizációs front alkalmas új típusú polimer keverékek és kompozitok előállítására.

Fémtartalmú kopolimer előállítása és a fémeloszlás meghatározása

A front-polimerizáció számos rendszerben megvalósítható. Monomerként alkalmazható metakrilsav [5, 6], metil-metakrilát [7], ciklopentadién [8] stb. A front-polimerizációs folyamatok tervezésénél mindenképpen figyelembe kell venni, hogy folyékony monomer esetén az alkalmazott monomer forráspontja lehetőleg magasabb legyen, mint a frontban kialakuló hőmérséklet. Szilárd monomerek felhasználásakor a monomer olvadáspontjának a frontreakció hőmérsékleténél alacsonyabbnak kell lennie.

Szerzők a Miskolci Egyetem Kémiai Tanszék¹ és Fémtani és Képlékenyalakítási Tanszék², illetve a Debreceni Egyetem Fizikai Kémiai Tanszék³ munkatársai

Munkánk során fémtartalmú kopolimereket állítottunk elő frontális polimerizációval. Vizsgáltuk a fémszemcsék elhelyezkedését a kopolimer-mátrixban. A kialakult eloszlások alapján az előállított termékek makroszkopikus tulajdonságai és a polimerizációs front terjedése közötti összefüggés meghatározása volt célunk.

A kompozitok szintézise

Vizsgálatainkat akrilamid AA (Reanal, at) és trietilenglikol-dimetakrilát TGDMA (Aldrich, 95%) polimerizációs rendszerben végeztük, α,α'-azobutironitril AIBN (Fluka, >98%) iniciátor jelenlétében adalékanyagként cinkport (MERCK, <60 μm, purum) alkalmaztunk.

Az egyenletes szemcseméretűvé őrlött akrilamidot az iniciátorral és az adalékanyaggal, végül a folyékony TGDMA-val elkevertük, majd a reakcióelegyet egy 9 mm átmérőjű 300 mm hosszú üvegcsőbe töltöttük. A polimerizációs reakciófrontot termikus iniciálással, izzó fémdrótt segítségével indítottuk el. Ezt követően további hőközlésre nincs szükség, az exoterm polimerizáció önfenntartóvá válik. Az AA és TGDMA polimerizációja gyökös mechanizmusú láncreakció, melynek során térhálós szerkezetű kopolimer keletkezik.

Felvetődött a kérdés, hogy a polimerizációs front haladási iránya van-e valamilyen hatással a kopolimer-mátrixban kialakuló fémeloszlásra. Ezért a polimerizációs frontot különböző haladási irányokban vizsgáltuk. Mivel a keletkező szilárd polimer lezárja a reakcióelegyet, ezáltal megakadályozza a monomerelegy kifolyását, gyakorlatilag 2-3 centiméternyi frontmozgás után az üvegcső a gravitációs vektor irányához képest bármilyen pozícióba helyezhető. A polimerizációs frontot három haladási irányban tanulmányoztuk. Az első esetben a függőleges helyzetű üvegcsőben a front fentről lefelé, a gravitációs vektorral azonos irányban haladt. A második esetben, a függőleges üvegcsőben a front alulról felfelé, a gravitációs vektorral ellentétes irányban mozgott. A harmadik esetben pedig az üvegcsövet vízszintes pozícióba helyezve a polimerizációs front haladási iránya merőleges volt a gravitációs vektorra.

A képfeldolgozás módszertana

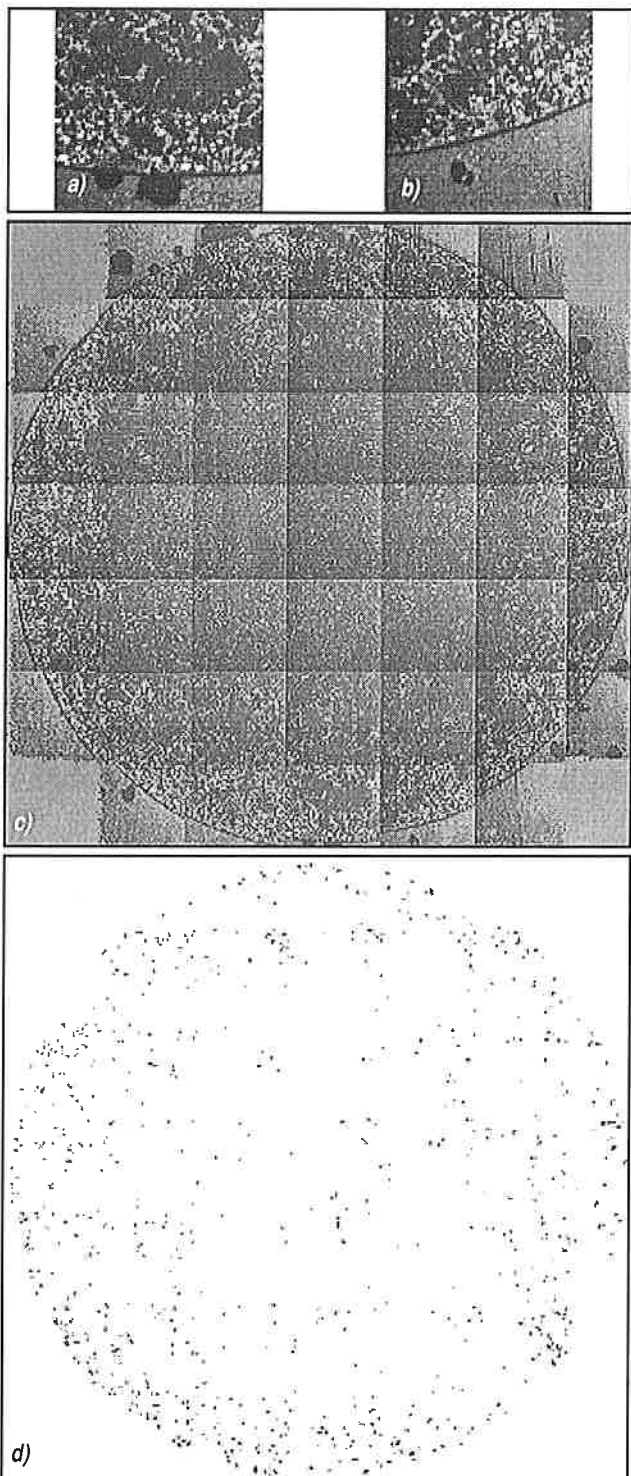
A morfológiai vizsgálatok során a kompozit rudak keresztmetszetének szerkezetét vizsgáltuk. A kompozit rudakból készített keresztmetszeti csiszolatokról optikai mikroszkóppal 128x nagyítású felvételeket készítettünk. A 128x nagyítás alkalmazása optimális jelen esetben, annak ellenére, hogy ezek a felvételek a kompozit rúd teljes keresztmetszetének csak egy kis részletét mutatják. Az ettől kisebb nagyítású optikai mikroszkopos képeken nem tudtuk kiértékelni az összes fémszemcsét, a nagyobb nagyítású felvételek pedig nem hordoztak magukban többletinformációt.

A mikroszkóp tárgyasztalát mozgatva pontosan egymás mellé illeszkedő digitális képeket készítettünk (1/a és b. ábra). Az egymás mellé illesztett felvételekből összeállítottuk a kompozit teljes keresztmetszeti képét (1/c. ábra). A teljes keresztmetszeti képen a világos tartományt (fémszemcséket) detektáltuk a Miskolci Egyetem Fémtani Tanszékén kifejlesztett CProbe program [9] segítségével (1/d. ábra).

Lokális területdiagram, és a területarány egyenletességének meghatározása

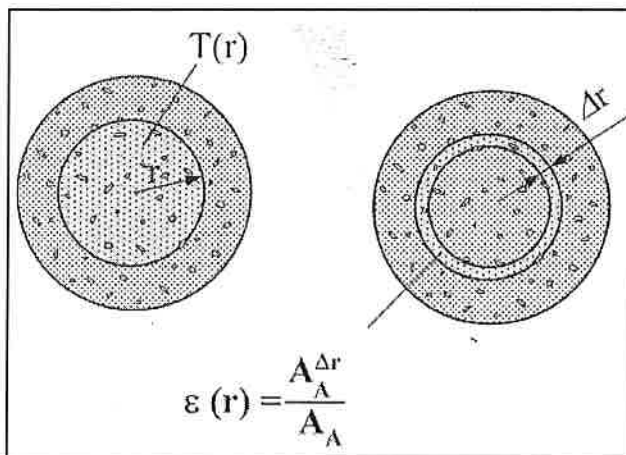
A fémszemcsék sugár menti elhelyezkedésének vizsgálatára a radiális eloszlásfüggvény módosított változatát, a *lokális területdiagramot*, illetve a *területarány*nak a sugár mentén értelmezhető *egyenletességét* alkalmaztuk [9] (2. ábra).

A lokális területdiagram meghatározásához a kompozit rúd teljes keresztmetszeti képének középpontjából kiinduló *r* sugarú körlepet he-



1. ábra. A képfeldolgozás lépései: a), b) optikai mikroszkóppal készített képek $N=128 \times$; c) a kopolimer teljes keresztmetszeti képe; d) a detektált kép.
A kompozit összetétele m/m%-ban: 49,58 Zn, 16,53 TGDMA, 33,06 AA, 0,83 AIBN

lyeztünk el és vizsgáltuk a körlap belsejére eső fémszemcsék abszolút területét (T). Az így kapott $T = f(r)$ értékeket összehasonlítottuk a teljesen egyenletes eloszláshoz tartozó $T_{RND}(r)$ értékkel. A területarány egyenletességének meghatározásához a Δr szélességű körgyűrűbe eső fémszemcsék területarányát viszonyítottuk a fémszemcsék átlagos területarányához a következő összefüggés felhasználásával:



2. ábra. A lokális területdiagram és a területarány egyenletességének meghatározása

$$\varepsilon(r) = \frac{A_A}{A_A} = \frac{T_{\Delta r} / ((r + \Delta r)^2 - r^2)}{T / r_{\max}^2}$$

Az egyenletben ε a területarány egyenletessége, r a kör sugara (pixel), $r_{\max}$ a kör maximális sugara (a kompozit rúd keresztmetszetének sugara) (pixel), Δr a körgyűrű szélessége (pixel), A_A a fémszemcsék területaránya Δr szélességű körgyűrűben, A_A az átlagos területarány, $T_{\Delta r}$ a fémszemcsék területe a Δr szélességű körgyűrűben (pixel), T a fémszemcsék területe az r sugarú körben (pixel).

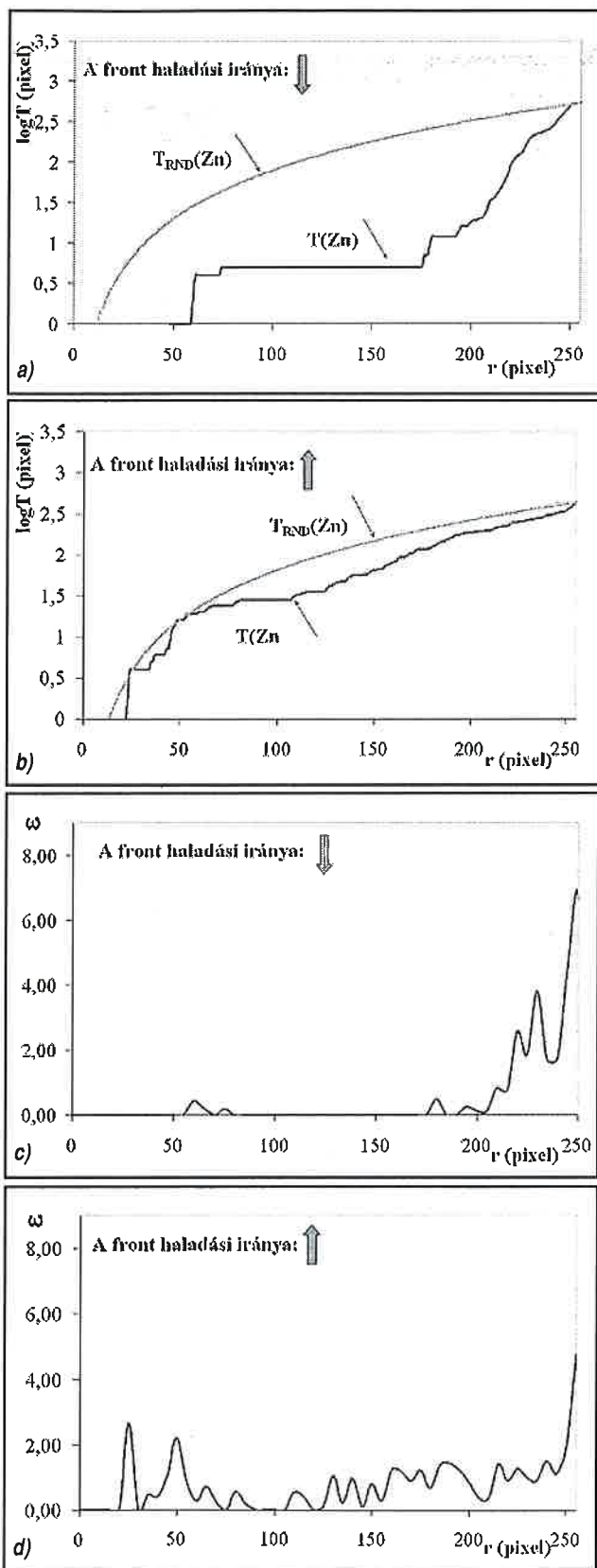
A fémszemcsék számának sugár függvényében történő változását a CProbe program segítségével mértük. A különálló objektumok azonosítása és a bináris kép-átalakítási műveletek után a keresztmetszeti képre helyezett körlapokon található szemcsék területét mértük, majd az adatokból számítottuk ki a lokális területdiagramot és a területarány egyenletességét.

Különböző haladási irányú frontreakciók során kialakult fémeloszlás

A polimerizációs front előrehaladásával folyamatosan változik a viszkozitás, a molekulatömeg és a hőmérséklet [10]. A kémcső hosszirányában különösen nagy hőmérsékleti gradiens alakul ki, a frontban a hőmérséklet akár 270°C-ra is emelkedhet. A polimerizációs reakciót kísérő magas hőmérséklet, és a kiindulási elegyben jelenlévő fémszemcsék jó hővezető képessége miatt a front előtti monomerelegy megolvad. Az olvadt tartományban anyagvándorlás alakul ki. A polimerizációs front torzulása és az olvadt zónában történő anyagáramlás következtében a kopolimerben – a reakció körülményeitől függően – sugárirányban különféle típusú, érdekes fémeloszlások figyelhetők meg.

A polimerizációs front haladási iránya meghatározza a fémszemcsék eloszlását a kopolimer-mátrixban. Különböző cinkpor tartalmú kompozitokat állítottunk elő eltérő haladási irányú polimerizációs frontreakciók során. A gravitációs vektorral azonos irányba haladó frontok esetén anizotrop cink-eloszlás alakult ki, a fémszemcsék a kompozit rúd szélén dúsultak fel. A gravitációs vektorral ellentétes és arra merőleges irányú frontmozgás esetén közel egyenletes fémeloszlású kompozit keletkezett (3. ábra).

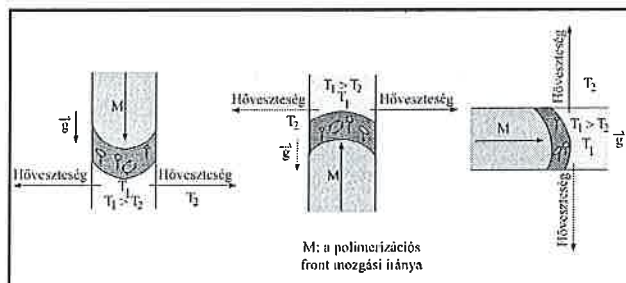
A kopolimerekben a fémszemcsé-eloszlás a polimerizációs front előtti olvadt zónában megjelenő keveredési folyamatok eredménye. Ahhoz, hogy értelmezni tudjuk a különböző fémeloszlásokat, figyelembe kell venni a reakció során kialakult hőmérsékleti viszonyokat. A polimerizációs reakció a haladás irányában nagy hőmérsékleti gradienst eredményez, az üvegcsővön keresztüli hővesztés pedig egy radiális hőmérsékleti gradiens kialakulásához vezet. Így a front előtti olvadt tartomány hőmérséklete nem egységes. Középen, a tengelynél magasabb



3. ábra. A kopolimerben kialakult fémeloszlások különböző haladási irányú polimerizációs frontok esetén; fémszemcsékre meghatározott a) b) lokális terület logaritmusának és c) d) területarány egyenletességének változása a sugár függvényében. A kompozitok összetétele m/m%-ban: a), c) 49,58 Zn, 16,53 TGDMA, 33,06 AA, 0,83 AIBN; b), d) 29,75 Zn, 23,14 TGDMA, 46,28 AA, 0,83 AIBN

a hőmérséklet, mint az üvegcső falához közeli területen. Az oligomerek és polimerek viszkozitására érvényes, hogy magas hőmérsékleten a viszkozitás kicsi, alacsony hőmérsékleten nagy. A jó hővezető képességű, nagy sűrűségű fémszemcsék a front előtti olvadt rétegben a gravitációs erő miatt lesüllyednek. Ez a mozgás a kis viszkozitású tartományban gyorsabb, mint a nagy viszkozitású területeken.

Fentről lefelé haladó frontok esetében stabil konvekció alakul ki, ami a fémszemcséket az olvadt zóna kisebb viszkozitású részére viszi, ahonnan nehezebben mozdulnak el. Az odaérkező front befagyaszítja ezt az állapotot. Alulról felfelé haladó polimerizációs frontok esetén instabil konvekció alakul ki, míg vízszintesen haladó frontok esetén nem alakul ki konvekció, mivel a front haladási iránya és a gravitációs vektor merőleges egymásra (4. ábra).



4. ábra. A polimerizációs frontban kialakuló konvekciós jelenségek; a front haladási iránya: a) fentről lefelé; b) alulról felfelé; c) vízszintes

A környezet hőmérsékletének hatása a kompozitban kialakuló fémeloszlásra

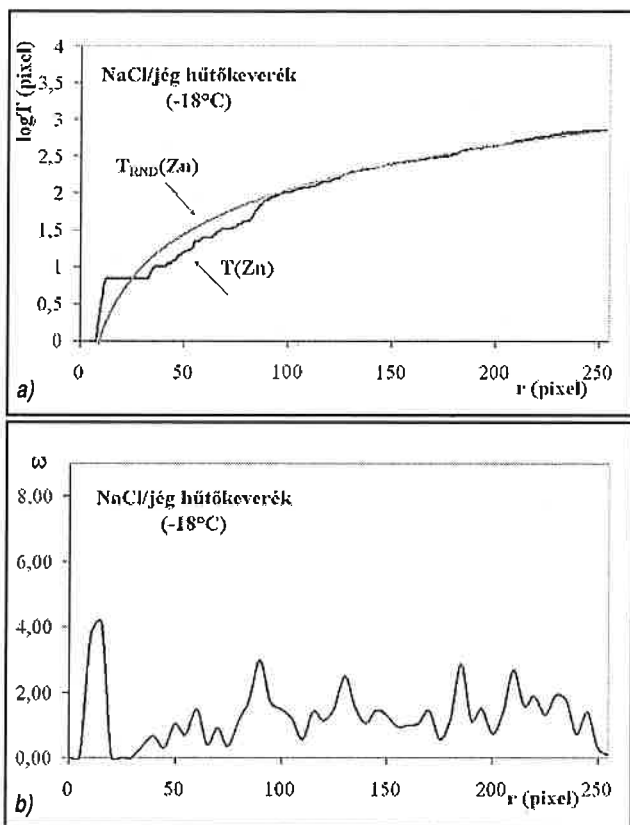
A front-polimerizációs folyamatokban a környezet hőmérsékletének jelentős szerepe van. A frontális polimerizáció egy termikus reakciófront, melyben az autokatalizátor formálisan a láncnövekedési folyamatban keletkező reakcióhő. Ahhoz, hogy ez a termikus front fenn tudjon maradni, a hőtermelési folyamatnak meg kell haladnia a környezet felé fellépő hővesztéséget.

A fémeloszlások vizsgálatakor felmerült a kérdés, hogy vajon a külső hőmérséklet milyen mértékben befolyásolja a fémszemcsék elhelyezkedését a kopolimerben. A kísérletek során a polimerizációs frontokat vizsgáltuk folyékony levegőben (-196°C), NaCl-jég hűtőkeverékben ($-14 - -18^{\circ}\text{C}$), szobahőmérsékleten ($20 - 22^{\circ}\text{C}$) és polisztirol habbal elszigetelt környezetben ($85 - 90^{\circ}\text{C}$) – kváziadiabtikus körülmények között –, a front minden esetben a gravitációs vektorral azonos irányban haladt. Ha az elindított polimerizációs frontot folyékony levegőbe helyeztük, annyira lecsökken a környezet hőmérséklete, olyan nagymértékű a hővesztés, hogy a frontreakció hirtelen megáll.

A környezet hőmérsékletétől függően – azonos összetételű kiindulási elegyek és megegyező irányú fronthaladás esetén – eltérő fémeloszlású kompozitok állíthatók elő (6. ábra). Egyenletes fémeloszlású kompozitot csak a hűtőkeverékben futott frontok eredményeztek, szobahőmérsékleten és hőszigetelt környezetben a fémszemcsék a minta szélénél dúsultak fel (5. ábra).

A kopolimerben kialakuló fémeloszlásokat befolyásolja a hossztengegyirányú és radiális hőmérsékleti gradiens mértéke. A környezet hőmérsékletének változtatásával az üvegcsővön keresztüli hővesztés mértékét növelhetjük, ill. csökkenthetjük. Ez befolyásolja a hossztengegyirányában kialakuló hőmérsékleti gradienst, de jóval kisebb mértékben, mint a radiális hőmérséklet-eloszlást. A környezet hőmérsékletének csökkenésével – a nagyobb hővesztés következtében – a frontban a viszkozitás nő. A fémszemcsék a nagyobb viszkozitású elegyben nehezebben mozdulnak el, így a szobahőmérsékleten haladó frontoknál tapasztalt stabil konvekciós mozgáshoz képest egy kevésbé intenzív keveredés alakul ki a front előtti olvadt tartományban.

Ha a környezet hőmérsékletét növeljük, a radiális hőmérsékleti gradiens nagysága csökken, mivel kevésbé intenzív az üvegcsővön kereszt-



5. ábra. A kopolimerben kialakult fémeloszlás NaCl-jég hűtőközegben haladó polimerizációs front esetén; a fémszemcsékre meghatározott
a) lokális terület logaritmusának és
b) területarány egyenletességének változása a sugár függvényében;
A kompozit összetétele m/m%-ban: 29,75 Zn, 23,14 TGDMA, 46,28 AA, 0,83 AIBN
(a front haladási iránya: fentről lefelé)

tüli hővesztesség. A szobahőmérsékleten tapasztalt konvekciós mozgás felgyorsul, az áramlás a fémszemcséket az üvegcső falához hordja.

Kizárólag kis fémtartalmú (10 m/m%) kiindulási elegyek esetén, ha a reakcióelegyet polisztirol habbal szigeteljük, az előállított kompozit rúd belseje üreges szerkezetű. A polimerizáció során a felszabaduló reakcióhő következtében a frontban akár 250°C feletti hőmérséklet is kialakulhat. Ennek oka az üvegcső szigetelése miatt a rendszerben fellépő hőtorlódás. A folyadék halmazállapotú TGDMA intenzív forrásba kezd. A forrás eredményeképp gázzárvány alakul ki a kompozit rúd belsejében, a legszélsőségesebb esetekben ez akár robbanáshoz is vezethet. (Ezt néhányszor tapasztaltuk is.) Nagyobb fémtartalmú minták esetében a kevesebb mennyiségű monomer jelenléte miatt, illetve a fém hőkapacitását is figyelembe véve, a hőtorlódás mértéke nem akkora, hogy az a folyékony monomer forrásához vezetne.

Összefoglalás

A frontális polimerizáció a polimerek szintézisének egy új és érdekes megközelítése. Egyszerű és könnyen kivitelezhető eljárás műanyagok és műanyag alapmátrixú kompozit anyagok gyártására. Célunk az, hogy a gyakorlati életben is hasznosítható anyagok gyártását valósítsuk meg az eljárás felhasználásával. A hagyományos polimerizációs folyamatokkal szemben a frontális polimerizáció előnye, hogy önfenntartó és önszabályozó az eljárás, oldószermentes, a késztermékek egy lépcsőben szintetizálhatók. A keletkezett polimer szerkezete kivételes morfológiai tulajdonságokkal rendelkezik, ami a monomerek gyors és egyenletes átalakulásának köszönhető. Az előállított termékek minőségét, esetleges gyakorlati használhatóságát az anyag mikroszerkezete

befolyásolja, a kompozit struktúráját pedig részben a frontban kialakuló hőmérsékleti viszonyok határozzák meg.

Munkánk során fémpor tartalmú kompozit rudakban kialakult fémeloszlásokat vizsgáltunk. Optikai mikroszkóppal készítettünk teljes keresztmetszeti képet a kompozit rudakról és lokális területdiagramok, valamint a területarány egyenletességének felhasználásával jellemeztük a kialakult eloszlásokat.

A polimerizációs front haladási iránya a gravitációs vektorhoz képest lényegesen befolyásolja a fémszemcsék eloszlását a kompozitban. A gravitációs vektorral megegyező irányú frontterjedés esetén anizotrop, ezzel ellentétben, illetve erre merőleges fonthaladás esetén egyenletes fémeloszlás alakul ki a kompozitban. Tanulmányoztuk a környezet hőmérsékletének hatását a kompozitban kialakuló fémeloszlásra. A környezet hőmérsékletének csökkentésével a gravitációs vektorral megegyező irányú frontterjedés esetén is előállítható egyenletes fémeloszlású kompozit.

Summary

Morphological investigation of the composite produced by frontal polymerization. Metal containing polymer matrix composites prepared by frontal polymerization were studied. The quantitative characterization of metal distribution of the composites was also achieved. The location of metal particles in the polymer matrix was characterized by a local area function and the uniformity of the area fraction.

The distribution of metal particles is anisotropic if the front propagated in a parallel fashion and in the same direction as the gravitational vector, while it is uniform if the direction of front propagation was reverse or perpendicular to the gravitational vector. The occurrences of observed metal distribution was explained.

The effect of the ambient temperature on the distribution of metal was also studied. It was proved that with the decrease of ambient temperature a uniform metal distribution can be achieved even if the propagation direction of the front is identical with the direction of the gravitational vector.

Irodalom

1. White, S. R.; Kim, C. (1993) Reinforced Plastics and Comp. 12, 520
2. Szalay, J.; Nagy, I. P.; Barkai, I.; Zsuga, M. (1996) Die Ang. Makr. Chem. 236, 97
3. Szalay, J.; Nagy, I. P.; Dravucz, I.; Zsuga, M. (1998) Műanyag és Gumi 10, 306
4. Pojman, J. A.; Ilyashenko, V. M.; Khan, A. M. (1996) J. Chem. Soc. Faraday Trans. 92, 2824
5. Pojman, J. A. (1991) J. Am. Chem. Soc. 113, 6284
6. Pojman, J. A.; Craven, R.; Khan, A. M.; West, W. (1992) J. Phys. Chem. 96, 7466
7. Smirnov, B. R.; Minko, S. S.; Lusinov, I. A.; Sidorenko, A. A.; Stegno, E. V.; Ivanov, V. V. (1993) Vysokomol. Soedin., Ser. B 35, 161
8. Fiori, S.; Mariani, A.; Ricco, R.; S. Russo (2002) e-Polymers 29, 1
9. Gácsi, Z. (2003) Az anyagok szövetszerkezetének morfológiai anizotrópiája és rendezettsége, MTA Doktori értekezés
10. Szalay, J.; Nagy, I. P.; Bazsa, Gy.; Zsuga, M. (1998) Műanyag és Gumi 9, 261

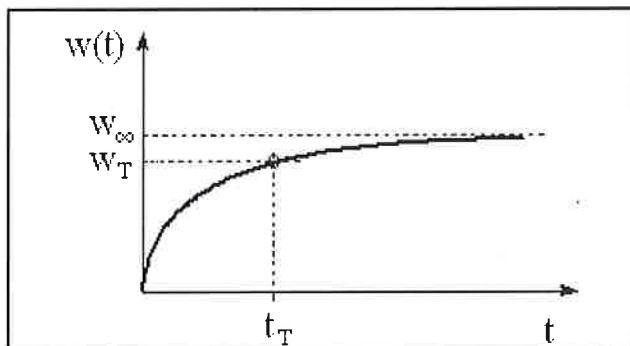
Gyantafelvételi folyamat vizsgálata és kiértékelése

Gombos Zoltán – Vas László Mihály – Gaál János*

Napjainkban a különböző szerkezetek előállítására előszeretettel és növekvő mértékben alkalmazzák a kompozitokat, amelyek erősítőanyagból és beágyazó mátrixból állnak. Az erősítőanyagként, a felhasznált mennyiséget tekintve, a legnagyobb jelentőséggel még mindig az üvegszálak bírnak. A nagy felületek, illetve laminált kompozit lapok kialakításánál, önállóan vagy üvegszövettel társítva, gyakran alkalmaznak szabálytalan szerkezetű üvegpaplanokat. A kompozitban az erősítő és a beágyazó anyag között az erős adhéziós kapcsolat fenn kell álljon még az igénybevétel magas szintje mellett is. Ennek elérése érdekében, például a polimer kompozitok készítésekor az erősítőanyagot a gyantával kellőképpen át kell tudni itatni. Mivel az erősítés minősége nagyban függ a nedvesíthetőségtől, az impregnálhatóságtól, ezért nagyon fontos ismernünk a felhasználásra szánt erősítőanyag gyantafelvételi tulajdonságát, amiből akár következtethetünk a késztermék tulajdonságaira.

A folyadékfelvétel modellje

A folyadékfelvétel folyamata rendszerint a 1. ábrán látható telítődési görbének megfelelően alakul. Folyadékfelvétel közben erőt, azaz a tömegből származó súlyt (w) mérjük. Ennek alapján meghatározhattuk azt a w_∞ folyadéksúlyt, amelyet végtelen idő alatt az adott szál anyag maximálisan felvenni képes. Ezt nevezhetjük telítődési súlynak is. Mivel a méréseket véges időintervallumban végeztük, célszerű definiálni egy olyan t_T időt amihez tartozó w_T felvett folyadéksúly a telítődési értékhez már elég közeli.



1. ábra. Folyadékfelvételi diagram

A görbe kezdeti szakaszára írható [2, 6]:

$$w(t) \approx \sqrt{2b_0 \sqrt{t}} = k_0 \sqrt{t} \quad (1)$$

A Washburn-Lukas-egyenlet módosított, de aszimptotikusan mind $t \rightarrow 0$, mind $t \rightarrow \infty$ esetén a pontos megoldással megegyező közelítő explicit megoldása, súllyal (w) vonatkoztatva, az alábbi [2, 6]:

$$w(t) = w_\infty \left[1 - e^{-\left(\frac{2a_0 t}{w_\infty}\right)^p} \right]^q \quad (2)$$

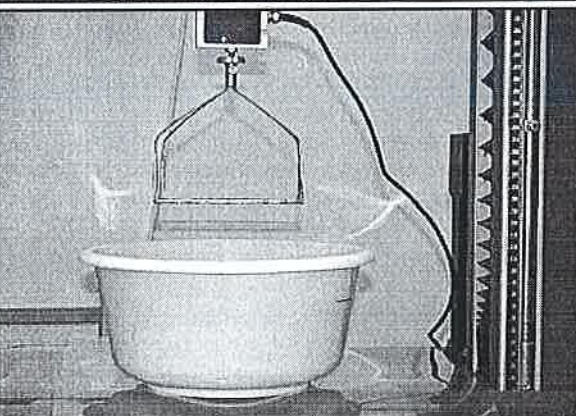
$$p \cdot q = \frac{1}{2} \quad (3)$$

* Szerzők a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimer-technika Tanszék munkatársai

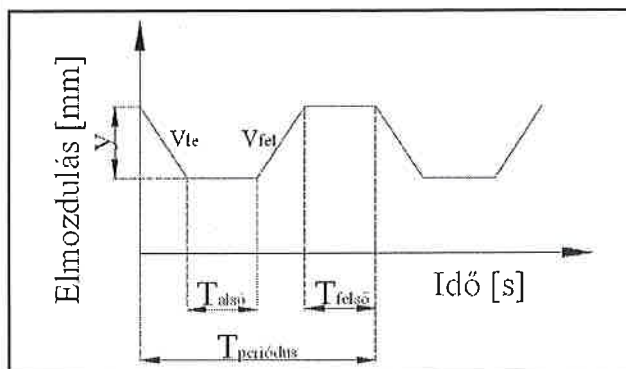
Mérési módszer

A mérést a számítógépes Zwick Z005 típusú szakítógéppel végeztük, amellyel a mérés programozható ciklusonként gépesíthető. A mérőeszközök összeállítását a 2. ábra mutatja. A gyantafelvételi mérések sorozatával rögzítő diagram segítségével jobban követhető és értékelhető a folyamat anélkül, hogy a grafikon időtengelyén eltolást, illetve korrekciót kellene alkalmazni. Az összetartozó erő-idő mérési pontok jól regisztrálhatók, és így mérés egzakt módon kiértékelhető.

A ciklus során beállított főbb paraméterek a következők: a keresztfej függőleges irányú elmozdulása (y), a keresztfej lefelé (v_{le}) és felfelé (v_{fel})



2. ábra. A méréshez használt berendezés, felül a monitoron a kirajzolt mérési görbével



3. ábra. A gyantafelvételi folyamat vezérléséhez használt ciklus

mozgásának sebessége, az alsó ($T_{\text{alsó}}$) és felső ($T_{\text{felső}}$) pontban tartózkodás ideje. Ezen adatok ismeretében a (4) egyenlettel kiszámítható a periódusidő ($T_{\text{periódus}}$), mely a ciklus egyik legfontosabb átfogó jellemzője. Ezek az értékek a következők: $y = 100$ (mm); $v_{\text{le}} = v_{\text{fel}} = 25$ (mm/s); $T_{\text{alsó}} = T_{\text{felső}} = 5$ (s); $T_{\text{periódus}} = 18$ (s). A folyamat ciklusdiagramját a 3. ábra mutatja.

$$T_{\text{periódus}} = \frac{y}{v_{\text{le}}} + T_{\text{alsó}} + \frac{y}{v_{\text{fel}}} + T_{\text{felső}} \quad (4)$$

A mérési folyamat főbb lépései

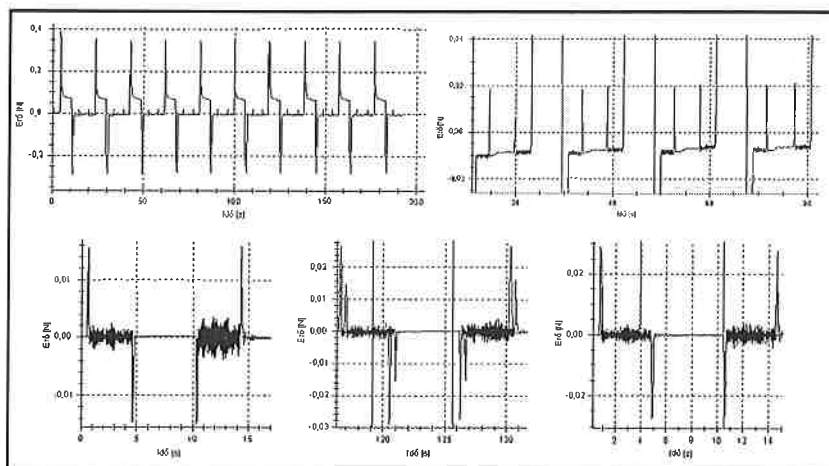
A mérések során, mivel a folyamat felső helyzetből indult és innen került a gyantafürdőbe a keret, a pozitív értékek nyomásra, míg a negatív értékek húzásra vonatkoznak. Elsődlegesen a mérési ciklust a szakítógépen keret nélkül futtatuk le, mintegy kalibráció végett. Ezután a gyantafürdőt megfelelő gyantaszinttel feltöltve a szakítógép asztalára helyeztük, majd a keretszerkezetet a szakítógéphez csatlakoztattuk. Az üres kerettel is végeztünk kalibráló méréseket a gyantába mérítve azt, és így módon azt határoztuk meg, mennyire befolyásolja a mérést a keret mozgásából, ellenállásából eredő erőingadozás.

A ciklus futtatása során keret nélkül 0,02 N, kerettel 0,03 N értékű erőugrást lehetett észlelni. A gyantába helyezett üres kereten 0,01 N súlyú gyanta maradt. A tényleges mérések során, amikor gyantába helyeztük a paplanmintákat és mértük a felszívott gyanta súlyát is, ez az érték bemerítésnél 0,4 N és kiemeléskor akár 1 N értéket is elérhetett, a rendszer nagyobb tehetetlenségéből következően. Szerencsére ez a jelenség a mérési folyamatra és a kiértékelésre nincs befolyással, mivel azok olyan részeknél lépnek fel, amikor nincs szükség a mért erő regisztrálására. A mérési folyamat közben mért eredmények a 4. ábrán láthatóak. Miután a mérési folyamat kezdőértékeit beállítottuk, elkezdtük a valós méréseket. A paplanmintát a keretre helyeztük, aminek súlyát minden esetben rögzítettük, hogy a későbbiekben erre az értékre vonatkoztathassuk a felszívott gyanta súlyát. A ciklust elindítva a gyantafelszívási folyamatból a szakítógép programja segítségével vettük fel a súlyból származó adatokat az idő függvényében.

A mérés sematikus vázlatát az 5. ábra, míg a felszívott gyanta helyzetét a paplanmintában a 6. ábra mutatja.

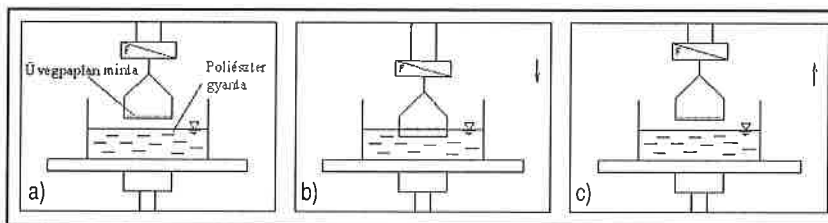
Mérési eredmények kiértékelése és ábrázolása

A mért gyantafelvételi folyamatok kiértékelése során a legfontosabb lépés a felhasználható, azaz jól elkülöníthető és követhető mérési pontok meghatározása. A hasznos időt, mely alatt a minta közvetlenül érintkezik a gyantával, két jól elkülöníthető pozíció közt eltelt idővel határoztuk meg. Az egyik mérőállás az, amikor a gyantába kerülő keret hatására a görbében nagymértékű, pozitív irányú erőugrás tapasztalható (t_{11}). A másik, amikor a keretet kiemelve a gyantából ellenkező előjelű, viszont

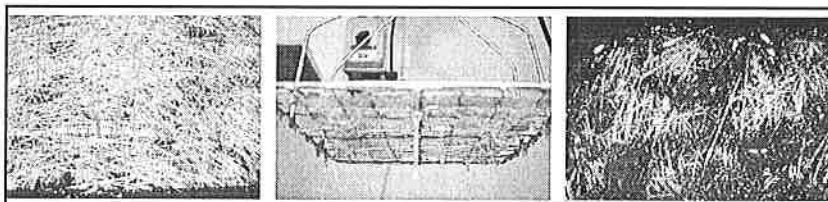


4. ábra. A mérési folyamat és a kalibrálási értékek (+ nyomás, – húzás).

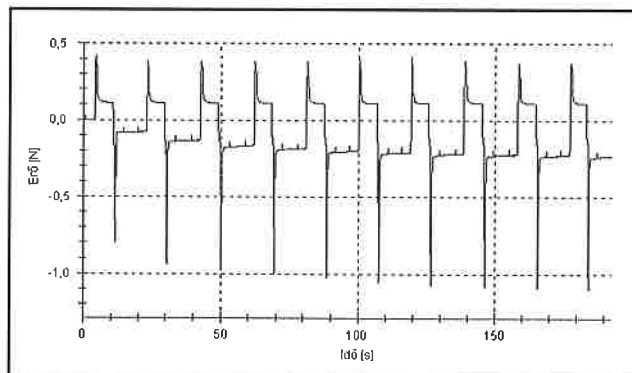
Balra fent a mérési ciklus értékei láthatóak minta nélkül, fent jobbra ugyanaz kinagyítva, a lentü ábrákon a keret nélkül és a kerettel tapasztalható erőugrások



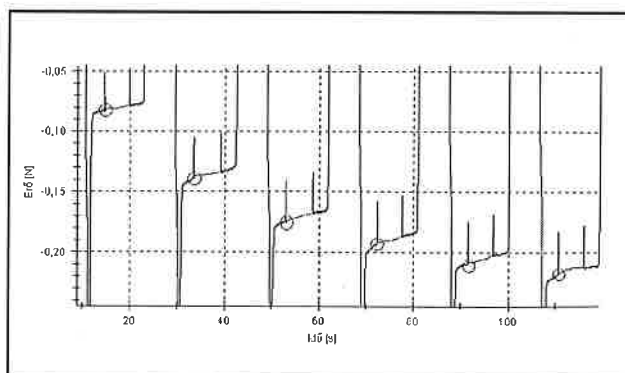
5. ábra. A mérési folyamat főbb lépéseinek sematikus vázlata: a, kiindulási pozíció b, a paplanminta úszik a gyanta felületén c, a felszívott gyanta súlyának mérése



6. ábra. A felszívott gyanta helyzete a paplanmintákban



7. ábra. Gyantafelszívási folyamat

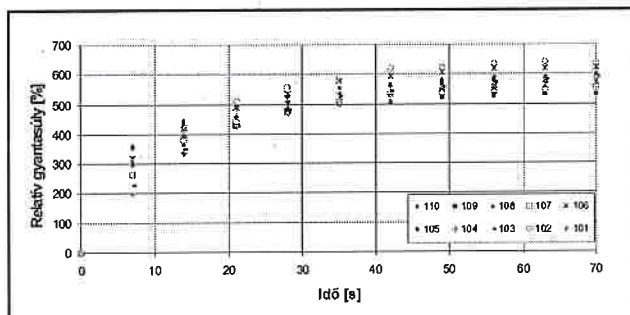


8. ábra. Felszívott gyanta súlyának mérési pontjai

hasonló intenzitású erőugrás látható (t_{12}). E két pozíció között eltelt idő alatt a minta a gyanta felületén helyezkedik el, tehát a mérés szempontjából ezen két pont közt eltelt idő (Δt) hasznosítható. A gyantafelszívás folyamatának regisztrátumát a 7. ábra jeleníti meg.

A felvett gyanta súlyára vonatkozó értékek a mérési ciklus azon pontjában lettek rögzítve, ahol a keretszerkezet felfelé mozgása során a felső holtpontban egy kis értékű erőugrás kezdődik (a 8. ábrán bekarikázott pontok).

Miután meghatároztuk a diagram elkészítéséhez szükséges mérési pontokat, a gyantafelszívási folyamat ábrázolhatóvá vált. A felvett gyanta súlya a minta súlyára vonatkoztatva egy jól összehasonlítható fajlagos értéket ad. Ez a relatív gyantasúly, $w(t)$, amely az idő függvényében telítődési folyamatot mutat. A 9. ábrán az egyik fajta üvegpaplan-minta 10 különböző mérési eredményét tüntettük fel.

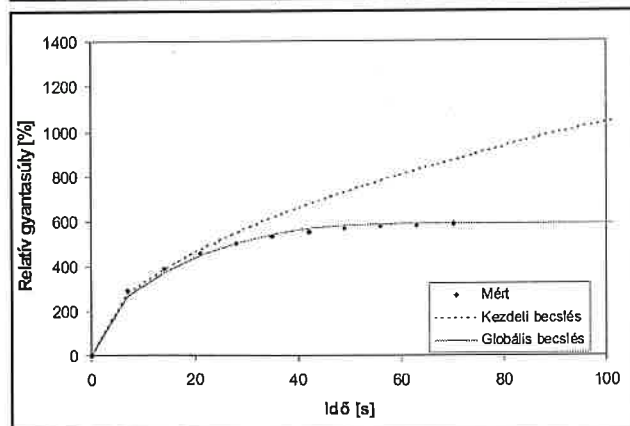


9. ábra. Gyantafelszívási folyamat ábrázolása az idő függvényében

Miután megkaptuk a mérési pontokat, ezekre az (1) és (2) egyenletek segítségével görbét fektettünk, minimális relatív átlagos négyzetes hiba (RANH) mellett, minden egyes üvegpaplan típusra. Ennek eredményeit az 1. táblázatban foglaltuk össze, míg a görbefektetés a 10. ábrán látható.

1. táblázat. A gyantafelszívási folyamatra illesztett görbe paraméterei

Üvegpaplan típus	w_{∞} (%)	k_0' (%/gyök(s))	k_0 (%/gyök(s))	p (-)	b_0 (m ² /g ² s)	a_0 (m/g.s)	RANH (%)
GFM1P	590	103,88	100,37	2,6	5037	8,54	1,64
GFM2P	500	75,41	77,61	2,1	3012	6,02	1,83
GFM3P	470	89,41	93,21	1,5	4344	9,24	1,52
GFM1E	560	48,27	47,90	2,6	1147	2,05	1,49
GFM2E	480	31,29	32,14	2,1	516	1,08	1,86



10. ábra. Gyantafelszívási folyamat mért értékei és a görbe illesztése

Következtetések

A mérések során arra az eredményre jutottunk, hogy a különböző típusú üvegpaplanok eltérő mennyiségű gyantát képesek felvenni, ezen kívül a telítődési idejük is eltérő. A telítődéshez szükséges idő maga-

rázható azzal, hogy a poros kötés a gyantában hamarabb képes feloldódni, mint az emulziós. Valamint ez a tulajdonság összefüggésben van az üvegpaplanok pórusosságával is. A felvett gyanta mennyisége és dinamikája függ az üvegpaplanok struktúrájától és pórusmérettől, ami a szálak elhelyezkedésének, valamint átmérőjének függvénye. Az azonos gyártó által készített poros és emulziós üvegpaplanok közel azonos mennyiségű gyantát abszorbeáltak, illetve a telítődési sebességük is hasonló mértékű a többi típushoz képest, ami a p görbeparaméterben is megmutatkozik. A mérési eljárásra vonatkozóan azt tapasztaltuk, hogy a mérés kezdőpontja egzakt módon meghatározható és maga a folyamat is jól követhető, ami a mérési idő és a felvett gyanta súlyának egyidejű regisztrálásának köszönhető. Ezáltal nem lép fel leolvasási pontatlanság és nincs szükség időtengely menti eltolásra sem. Így a gyantafelvételi diagramok kezdeti érintőinek a meredeksége (k_0') közvetlenül meghatározható. A valós gyantafelszívási folyamat a Washburn-Lukas-egyenlet alapján, kis relatív átlagos négyzetes hiba (RANH) mellett, jól közelíthető. A gyantafelszívási sebesség (k_0) révén a különböző gyártók által előállított más típusú kötőanyaggal készült üvegpaplan-minták gyantafelszívási tulajdonságai kellőképpen összehasonlíthatóak.

Köszönetnyilvánítás

A cikk az OTKA T038220 és T049069 pályázatok segítségével valósult meg.

Irodalom

- [1] Nagy, V.- Kostakova, E.- Vas, L.M.: Investigation of Porosity in Polyester Staple Yarns., 5th International Conference TEXSCT03, Textile Science 2003, June 16-18. 2003.; Liberec, CZ, Proceedings, pp. 164 – 167
- [2] Nagy, V.- Vas, L. M.: Testing liquid absorption in polyester staple yarn. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2005. megjelenés alatt
- [3] Perwuelz, A. – Mondon, P. – Cazé, C.: Experimental study of capillary flow in yarns, *Tex. Res. J.*, Vol. 70, No. 2, 2000.
- [4] Rebenfeld, L. – Miller, B.: Using liquid flow to quantify the pore structure of fibrous materials, *J. Tex. Inst.*, Vol. 86, No. 2, 1995.
- [5] Beckham, H. W. – Carr, W. – Warner, S. B.: Fundamentals of Moisture Transport in Textiles, *National Textile Center*, Project No. C97-G31.
- [6] Gombos, Z. – Nagy, V. – Vas, L.M. – Gaál, J.: Investigation of pore size and resin absorbency in chopped strand mats, *Periodica Polytechnica*, 2006/1 (megjelenés alatt)
- [7] Dutkiewicz, J.: Some advances in non-woven structures for absorbency, comfort and aesthetics, *Autex Research Journal*, Vol. 2, No. 3., 2002.

SZEMLE

UV fény hatására a polimer visszanyeri az alakját

Alakemlékező az az anyag, amely az ideiglenesen megváltoztatott alakját valamilyen inger hatására visszanyeri. A legismertebb ilyen anyag valószínű a nitinol, amely hő hatására nyeri vissza eredeti alakját.

Most Andreas Lendlien és munkatársai (GKSS Research Center Geesthacht GmbH, Teltow, Németország) egy olyan polimerről adtak hírt, amely bizonyos hullámhosszú UV fényben meghajlítva még melegítésre is, 50°C-ig, megtartja a megváltoztatott alakját, de egy másik hullámhosszú UV fény hatására visszanyeri az eredeti alakját. Ez a könnyen szabványozható alakemlékező anyag számos alkalmazási lehetőséget kínál az olyan területen ahol egy meghatározott távolságú mozgásra van szükség (2005 Nature 434 879).

 AGMI Anyagvizsgáló és Minőségellenőrző Rt. Oktatásszervezési Osztály 1211 Budapest, Gyepsor u. 1. Tel.: 278-0755, Fax: 278-0756	
AKTUALIS KÉPZÉSI PROGRAMUNK 2005-BEN ANYAGVIZSGÁLÓ SZAKKÉPESÍTŐ ÉS MINŐSÍTŐ TANFOLYAMOK 2005-ben, OKJ 53 5401 01	
Tanfolyam típusa Tömörsegi anyagvizsgáló (LT1 és 2), 10 naposak Rezgéselemző anyagvizsgáló (VAT1 és 2), 10 naposak Mechanikai anyagvizsgáló (1/13 napos és 2/15 napos), Metallográfiai anyagvizsgáló (1 és 2/15 naposak)	Létszámfüggő
EUROPÁI HEGESZTÉS FELÜGYELŐ (EWIP) KÉPZÉSEK 2005-ben	
Európai hegesztés felügyelő mérnök (EWI-E), 33 napos Európai hegesztés felügyelő – technológus (EWI-T), 33 napos Európai hegesztés felügyelő – specialista (EWI-S), 21 napos Európai kiemelt hegesztés – felügyelő (EWI-P), 15 napos	Létszámfüggő
NYOMÁSTARTÓ- ÉS TARTÁLYTECHNIKAI TANFOLYAMOK 2005-ben	
Nyomástartóedény-gépész, OKJ 32 5252 04; 28 napos JÁTSZÓSZER SZAKEMBER KÉPZÉSEK 2005-ben	Létszámfüggő
Játszószersz gyártó, 10 napos Játszószersz forgalmazó és telepítő, 10 napos Játszószersz fenntartó, 11 napos Játszószersz menedzser, 15 napos	Létszámfüggő
EGYEB TANFOLYAMOK 2005-ben	
Környezetvédelmi szakelőadó, OKJ 53 5470 03; 40 napos Emelőgép-ugyintéző, OKJ 53 5483 01; 10 napos Értékesítési menedzser, 10 napos	Létszámfüggő
SPECIÁLIS KÉPZÉSEK Cégek részére, kihelyezett formában (csak tájékoztató jellegű felsorolás) – Hőkezelő továbbképző – Autóipari mérés és minősítés vizsgálat	
RENDEZVÉNYEK – Aktuális rendezvényeinkről az AGMI Rt. honlapján (http://www.agmi.hu) is tájékozódhat	Létszámfüggő
Képzéseinket megfelelő létszám esetén indítjuk. A tanfolyamok helye: AGMI Rt. Anyagvizsgáló épület (1211 Budapest, Gyepsor u. 1.) Szállás és étkezés: igény szerint biztosítunk Szakképzési hozzájárulás: Képzéseink az OKÉV által nyilvántartásba kerültek, így a tanfolyam költségei elszámolása kérelmezhető a szakképzési hozzájárulás terhére. KIHELYEZETT TANFOLYAMOK, KÉPZÉSEK, RENDEZVÉNYEK SZERVEZÉSE. Részletes tájékoztatás: AGMI Rt Oktatásszervezési Osztály (1751 Budapest, Pf. 114.) Tel.: (06-1)425-0761, (06-1)278-0755 Fax: (06-1)278-0756 Honlap: http://www.agmi.hu E-mail: oklatas@agmi.hu Szeretettel várjuk tanfolyamainkon! Martin Erika – mb. osztályvezető	

Hazai rendezvények 2005-ben

8. Polymers for Advanced Technologies nemzetközi szimpózium, Budapest, szeptember 13-16. Kiemelt témák: biodegradálós polimerek, nanokompozitok, intelligens anyagok, nagy teljesítményű kompozitok, a legújabb módszertani fejlesztések és vizsgálati technikák. Bővebb információ és előregisztráció a www.bme.hu/pal2005 honlapon.

V. Országos Anyagtudományi, Anyagvizsgáló és Anyaginformatikai Konferencia és Kiállítás, Balatonfüred, október 9-11. Szekciók: Az új évezred anyagai és technológiái; Korszerű anyagkutatási és -vizsgáló módszerek; Modellézés és anyaginformatika; Innovatív termékek és technológiák. Tájékoztatót ad a konferencia titkarsága: titkarsag@oaaakk.hu; www.oaaakk.hu. Dunafer Rt Innovációs Menedzsmen OAAAKK5, 2401 Dunaújváros Pf. 110., tel.: (25) 584-329.

VEKOR 2005 őszi konferencia, Balatonfüred, Uni Hotel, október 11-13. Témakörök: újdonságok a korrózióvédelemben; betonépítmények, autópálya-hidak korrózióvédelme; különleges létförvöltozések. Tisztelt Mihala Feri bácsi munkássága előtt.
Részletek a www.vekor.hu honlapon.

Nemzetközi rendezvények 2005-ben

Thermographie-Kolloquium 2005, IKP Universität Stuttgart, Thermographie-Arbeitsgruppen, szeptember 22., Tájékoztató a <http://www.dgfp.de/?page=lagungen/thermo2005> honlapon.

22. Danubia-Adria Symposium – kísérleti mechanika, szept. 28. – okt. 2., az olaszországi Pármában. Tájékoztatót adnak a szervezőbizottság magyar tagjai: dr. Thamm Frigyes: thamm@mm.bme.hu, vagy dr. Borbás Lajos: borb@kge.bme.hu.

NDT In Progress, Prága, október 10-12. szervezi a Cndt, EFNDT. Tájékoztató a <http://www.cndt.cz> honlapon.

Nemzetközi rendezvények 2006-ban

Fachtagung Bauwerksdiagnose – Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen (im Rahmen der bautec), Berlin, február 23-24., a DGZIP és a BAM szervezésében; Részletes tájékoztatás olvasható a <http://www.bauwerksdiagnose2006.de/> honlapon.

4. Fachtagung ZIP im Eisenbahnwesen, Wittenberge, Németország, március 21-23., a DGZIP szervezésében; Részletes tájékoztatás olvasható a www.dgfp.de honlapon.

4. Fachseminar Dichtheitsprüfung und Lecksuche in der Industrie: Neue Methoden und Geräte, Dortmund, Németország, március 28-29., a DGZIP szervezésében; Részletes tájékoztatás olvasható a www.dgfp.de honlapon.



OKTATÁS ÉS RENDEZVÉNY SZERVEZŐ,
ADATSZOLGÁLTATÓ ÉS KIADVÁNYGONDOZÓ BT.
 Kamarai azonosító: 345597; Regisztrációs szám: 07-0290-02
 1752 Budapest, Pf.101 • Tel.: 402-4098 • Fax: 402-4099
 Mobil: 06-20-958-2659 • E-mail: orszak@axelero.hu

Az ÉMI-TÜV Bayern Kft, által MS 00124-056 számon MSZ EN ISO 9001:2001 szerint tanúsított képző intézmény.

Az ORSZAK BT. a 2005. évi, 2006. tavaszi időszakban roncsolásmentes anyagvizsgáló (RmAv) tanfolyamokat szervez az eljárások széles skáláján, és egyszerre nyújtja mind az 50/1999. (IX.10.) GM. rendeletben előírt OKJ-s bizonyítványt, mind az EU-ban elismert MSZ EN 473 szabvány szerinti tanúsítványt. Az RmAv tanfolyamok alapozó tárgyait – anyagvizsgálat, anyag- és gyártásmérlet – előzetesen kell elsajátítani az alapozó tanfolyamokon, illetve a menességet adó szakirányú felsőfokú végzettséget, vagy az érvényes anyagvizsgáló képesítést a bizonyítványt lényegesen egyszerűbbé teszi. Tanfolyamaink hallgatói nyomatott jegyzeteket, az érvényes szabványok listáját, valamint ebédet kapnak a szorgalmi időszakban. Kérésre szállást is biztosítunk félpanzióval (kétágyas, fürdőszobás szoba, reggeli, vacsora). Segítségül adunk az MSZ EN 473:2001 szabvány szerinti csoportosításban a termék szektorok (c, f, w, wp, l, ...) és a belőlük felépülő ipari szektorok megválasztásához, tájékoztatunk az 1. és 2. szintű roncsolásmentes anyagvizsgáló tanfolyamra való jelentkezés feltételeiről (alapozó tanfolyam, orvosi alkalmasság, alapképzettség, gyakorlati idő, felmentések). Kívánságra jelentkezési lapot és a tanfolyamok részletes programját elküldjük faxon vagy e-mailben.

Lehetséget adunk a 9/2001. (IV. 5.) GM rendelet (27-97/EC direktíva) 6. melléklet 3.1.3 pontja szerinti ki-gesztől szakképzés megszerzésére. Ezek az ún. PED-tanfolyamok az MPV-tanfolyamok második helyé-ben végezhetők el. Célnk, hogy tanfolyamaink hallgatói jól eligazodjanak az adott eljárás elméletét és gyakorlati feltételeit. Ennek érdekében tanfolyamaink 3. vagy 2. szintű képesítéssel és nagy gyakorlati rendelkezés előadókat oktatnak, a gyakorlati foglalkozások MSZ EN ISO/IEC 17025 szerinti akkreditált vizsgáló laboratóriumokban folynak. A tanfolyamok legeredményesebb hallgatóit hasznos anyagvizsgáló eszközöket tartalmazó csomaggal ajándékozzuk meg.

AZ Rm ANYAGVIZSGÁLÓ TANFOLYAMAINK PROGRAMJA

A tanfolyam- és vizsgaköltség a szakképzési hozzájárulás terhére elszámolható!
Bővített fokozott sugárvédelmi tanfolyam: 2005. szept. 1-2.
Alapozó tanfolyam az 1. szinthez: 2005. szept. 5-6. és 2006. jan. 16-17., ill. 2006. jan. 16-17.
Alapozó tanfolyam az 2. szinthez: 2005. okt. 24-25. és 2006. feb. 21-22., ill. 2006. feb. 27-28.
Mágnesezhető poros (MT-1): 2006. jan. 18-20.
Folyadékbehatolás (PT-1): 2006. jan. 23-25., gyakorlati vizsga: febr. 3.
Vizuális (VT-1): 2005. szept. 19-21., gyakorlati vizsga: szept. 22., ill. 2006. jan. 30. – febr. 1., gyakorlati vizsga: febr. 2.
Ultraszhangos (UT-1): (Krautkrämer, Sonatest, Panametrics): 2005. szept. 26. – okt. 12., gyakorlati vizsga: okt. 13., elméleti vizsga: okt. 14., ill. 2006. febr. 6-22., gyakorlati vizsga: febr. 23., elméleti vizsga: febr. 24.
Tömörsegvizsgáló (LT1 és LT-2): 2005. okt. 10-19., vizsga: okt. 20-21., ill. LT-1: 2006. febr. 20. – márc. 1., vizsga: márc. 2-3.
Tömörsegvizsgáló kondicionáló tanfolyam: 2006. febr. 14-16.
Rezgéselemző (VAT-1): 2005. okt. 17-26., vizsga: október 27-28.
Mágnesezhető poros (MT-2): 2005. szept. 28-okt. 2., 2005. okt. 26-27., gyakorlati vizsga: nov. 10., ill. 2006. márc. 1-3., gyakorlati vizsga: márc. 16.
Folyadékbehatolás (PT-2): 2005. nov. 2-4., gyakorlati vizsga: nov. 11., ill. 2006. márc. 6-8., gyakorlati vizsga: márc. 17.
Vizuális (VT-2): 2005. nov. 7-9., gyakorlati vizsga: nov. 10., ill. 2006. márc. 10-14., gyakorlati vizsga: márc. 16.
PED tanfolyam + vizsga: 2005. szept. 16. és dec. 2., ill. 2006. jan. 27., márc. 9. és ápr. 20.
Ultraszhangos (UT-2): (Krautkrämer, Sonatest, Panametrics): 2005. nov. 14-23., gyakorlati vizsga: nov. 24., elméleti vizsga: nov. 25., ill. 2006. márc. 20-29., gyakorlati vizsga: márc. 30., elméleti vizsga: márc. 31.
Rezgéselemző (VAT-2): 2006. ápr. 18-26., gyakorlati vizsga: ápr. 27., elméleti vizsga: ápr. 28.
Akusztikus emissziós AET-2 újraminősítő tanfolyam: 2006. ápr. 4-16., vizsga: ápr. 13-14.
Kondicionáló tanfolyamok: MT2, PT2, VT2: 2005. nov. 28. – dec. 1., (Jelentkezés: nov. 11.), illetve UT2: 2005. dec. 5-8., (Jelentkezés: nov. 11.), és RT2 + bővített sugárvédelmi tanfolyam: 2006. jan. 9-13. (Jelentkezés: dec. 9. – A 16/2000. (VI.8.) Eü.M. rendelet szerinti bővített sugárvédelmi tanfolyam és vizsga magában is teljesíthető!)

A kondicionáló tanfolyamokat a 2000-ben 2. fokozatú vizsgát tett, illetve az RT2-t a 1999-ben 2. fokozatú, vagy továbbképző tanfolyamot végzett kollégáknak ajánljuk. A foglalkozásokon felrészlülük a szakma alapjait, ismertetjük az elmúlt években megjelent szabványokat, (MSZ EN, MSZ EN ISO...) és az új vizsgálati eljárásokat, vizsgálati anyagokat. Bemutatjuk az elmúlt években megjelent modern vizsgálati eszközöket, ellenőrzőeszközöket (az UT2-nél a modern digitális, "A" és "B" képeket is előállító vizsgálati eszközök, ultrahangos fejeket). Az RT2-nél foglalkozunk a nagy sugárterhelésű, a sugárforrás kalibrálásával, a módszer mérési pontosságának becslésével; az új képalapú és képernyős eljárásokkal; gyakorlatilag a filmértékelést és a jegyzőkönyvvezést az MSZ EN 473:2001 szabvány B és D melléklete szerinti.) Segítségül nyújtunk a tanúsítvány meghosszabbításához. A tanfolyamok helyszíne: Dunaújdóvár, Hídő Pannió (panzió, kétágyas, zuhanyzófürdők elhelyezése).

Legalább 6 fő jelentkezése esetén induló tanfolyamok: szinkronizáló (SPT-1, SPT-2) acél, szin-fém; akusztikus emissziós (AET-1, AET-2) és érvényesítés (ET-1, ET-2) anyagvizsgáló.

Kérjük fel honlapunkat: www.orszak.hu

Vállalatok, társaságok részére kihelyezett tanfolyamokat, speciális igényeket kielégítő képzési formákat is szervezünk – nemcsak anyagvizsgálóknak – hanem: tartályvizsgáló, nyomástartó berendezést vizsgáló, minőségellenőrző, minőségbiztosítási felülvizsgáló és tanúsító, kiegészítő, könnyűgép-kezelő, nehézgépkezelő szakokon.

Tanfolyamainkat évről-évre azonos időszakban szervezzük, kurzusaink már 5-6 jelentkező esetén is elin-dulnak, ezért velünk évekre előre tervezhet!

Küldjön egy névjegykártyát, és kérje részletes ismeretőtől fűzetünket!
Forduljon hozzánk bizalommal!
Szűcs Pál
Dénés Gáborné

FATIEPEC 2006 – International Congress for Paint Scientists & Engineers, Budapest, 2006. június 12-14. Rendezi a Magyar Kémikusok Egyesülete (MKE) és a Lengyel Vegyész-mérnökök Egyesülete (SITPChem - Polish Association of Chemical Engineers). **Fő témakörök:** Alapanyagok (köllanyagok, pigmentek, adalékok, oldószerek). Alkalmazott technológiák, mérések, vizsgálati módszerek. Környezetvédelem, marketing, trendek, törvényi előírások. Részletes tájékoztatás folyamatosan olvasható a www.fatiepec2006.hu honlapon.
Congress Secretariat: H-1027 Budapest, Fő u. 68. Tel.: +36 1 201 68 83 Fax: +36 1 201 80 56 e-mail: mail@fatiepec2006.hu. Presidents of FATIEPEC: János Bognár (H) & Jozef Koziel (PL).

Workshop Advanced testing of fresh cementitious materials, Stuttgart, Németország, augusztus 3-4., a DGZIP, az Universität Stuttgart, a RILEM és a DFG szervezésében; Részletes tájékoztatás olvasható a www.cement-testing2006.de honlapon.

9th European Conference on NDT (ECNDT), 2006. szeptember 25-29., Berlin. Tájékoztató: DGZIP, Max-Planck-Sir 6, 12489 Berlin, Germany. Tel: +30 678 07 120; Fax: +30 678 07 129; E-mail: info@dgfp.de; website: <http://www.ecndt2006.info/>



FRISSBETON VIZSGÁLÓ KÉSZÜLÉKEK:

Roskadásvizsgáló kúp, Vebe-készülék,
terülmérő asztal, légpórustartalom mérő,
próbakockák, rázóasztal, merülő-vibrátor.



SZILÁRDBETON VIZSGÁLÓ BERENDEZÉSEK:

Törő- és hajlítógépek, vízzáróság vizsgáló
pad, nedvességmérők, repedésvizsgáló
mikroszkópok, helyszíni vizsgálóeszközök



CEMENTVIZSGÁLÓ KÉSZÜLÉKEK:

Blaine-, Vicat-, Le Châtelier-készülékek,
mixerek, ejtőasztalok, nedves kamrák,
szabványos törőgépek.



ASZFALTVIZSGÁLÓ KÉSZÜLÉKEK:

Bitumentartalom mérő, Marshall-döngölő
és törő, Gyrator, univerzális Matta és
UTM SP készülék, gerendahajlító,
penetrométerek, duktilométer,
pecsétnyomó, SHRP specifikus készülékek.



TALAJVIZSGÁLAT:

Mintavevők, Proctor-készülék, Casagrande
készülék, CBR teszt, Multiplex készülék,
nyírógép, penetrométerek.



ÁLTALÁNOS MÉRŐESZKÖZÖK:

Szitarázók és sziták, szárító-szekrények,
izzítókamencék, mérlegek, hőmérők.

Forgalmazza: **ATESTOR**

www.atestor.hu • 06 (1) 319 1 319
06 (30)



Konferencia felhívás

2005. szeptember 13–16-án hazánkban kerül megrendezésre a 8. Polymers for Advanced Technologies nemzetközi konferencia. A rendezvény célja bemutatni a legfrissebb kutatási eredményeket az új anyagok és technológiák fejlesztése területén. Így külön szekció foglalkozik többek között a biodegradábilis polimerekkel a nanokompozitokkal, az intelligens anyagokkal, a nagy teljesítményű kompozitokkal, a légújabb módszertani fejlesztésekkel és vizsgálati technikákkal.

Bővebb információ és előregisztráció a www.bme.hu/pat2005 honlapon.



FATIPEC 2006

June 12–14, BUDAPEST – HUNGARY

FEDERATION D'ASSOCIATIONS DE TECHNICIENS DES INDUSTRIES DES PEINTURES, VERNIS, EMAUX ET ENCRES D'IMPRIMERIE DE L'EUROPE CONTINENTALE-FONDÉ EN 1950

INTERNATIONAL CONGRESS for PAINT SCIENTISTS & ENGINEERS

Rendezi a Magyar Kémikusok Egyesülete (MKE) és a Lengyel Vegyészmérnökök Egyesülete (SITPChem-Polish Association of Chemical Engineers).

Fő témakörök: Alapanyagok (kötőanyagok, pigmentek, adalékok, oldószerek).
Alkalmazott technológiák, mérések, vizsgálati módszerek.
Környezetvédelem, marketing, trendek, törvényi előírások.

Részletes tájékoztatás folyamatosan olvasható a www.fatippec2006.hu honlapon.

Congress Secretariat: H-1027 Budapest, Fő u. 68.

Tel.: +36 1 201 68 83 *Fax:* +36 1 201 80 56 *e-mail:* mail@fatippec2006.hu.

Presidents of FATIPEC: János Bognár (H) & Jozef Koziel (PL).