

Beszámoló az ECF23 Konferenciáról – I. rész

Report from the ECF23 Conference - Part I

1. Bevezetés

Az ECF23-at – azaz a „23rd European Conference on Fracture” konferenciát – 2022. június 27. és július 1. között rendezték meg Funchalban, Madeira fővárosában. A szervezők az esemény jelmondatául a „Fracture Mechanics and Structural Integrity” kifejezést választották. A mottó arra hívja fel a figyelmet, hogy a szilárd anyagból létrejött vagy készített struktúrák szerkezeti integritása és a törésmechanika szét nem választható – azaz összefonódott – fogalmak. Mivel előadóként vettem részt a konferencián, így személyes benyomásaimat is összegezve, örömmel teszek eleget Dr. Trampus Péter professzor – az ESIS Magyarország elnöke – azon felkérésének, hogy osszam meg tapasztalataimat az érdeklődő magyarországi szakmai közönséggel. Az eseményen több mint 500 előadás hangzott el, ezért arról összefoglaló áttekintést írni meglehetősen reménytelen feladatnak tűnt. Ezért – a szervezők által követelt felosztást alapul véve, de azt némiképp átstrukturálva – tárgykörök szerint csoportosítottam az előadásokat, majd az egyes témákon végighaladva próbáltam dióhéjban összefoglalni az egyes témakörökben elhangzottak lényegét. Néhány témakörben az elhangzottak ismertetése mellé olyan kiegészítő megjegyzéseket fűztem, amelyek remélhetőleg az adott tématerületet kevésbé követő olvasók számára is megkönnyítik az eligazodást.

Összefoglalónkat terjedelmi okokból két részre osztottuk. Ebben a részben röviden bemutatjuk a konferencia helyszínét, vázlatosan áttekintjük az ECF konferenciák történetét, és ismertetjük az eseményen elhangzott plenáris előadásokat. A második részben a szekciók munkáját mutatjuk majd be.

2. A konferencia helyszíne

Amint már említettük, az ECF23-nak Funchal, Madeira fővárosa adott otthont. Madeira a Madeira-szigetecsoport legnagyobb szigete az Atlanti-óceánban: az északi szélesség 32-33°, illetve a nyugati hosszúság 16-17° között, az Afrikai lemezen fekszik, Afrika északnyugati partjától – Marokkó magasságában – ≈520 km-re nyugatra,



1. ábra: Madeira pozíciója az Atlanti-óceánban az európai és az afrikai kontinenshez képest [2]

Lisszabontól ≈1000 km-re délnyugatra [1], pozícióját az 1. ábrán mutatjuk be [2] (piros színnel kiemeltük). Madeira szigetét 1418-19-ben Tengerész Henrik portugál herceg vezetésével fedezték fel a Portugál királyság hajósai, majd az 1420-as évek elején tették Portugália birtokává; a sziget azóta – kisebb megszakításokkal – Portugáliához tartozik. Ma Madeira – a szomszédos Porto Santo szigettel együtt – Portugália autonóm régiója. Autonóm státuszát 1976. április 30-án nyerte el [1]. Magyar szempontból Madeira szigete különleges jelentőséggel bír [3]: 1922. április 1. napján a ma Funchalhoz tartozó Montéban, a Quinta do Monte-villában halt meg tüdőgyulladásban IV. (Boldog) Károly, az utolsó magyar király. Róla írta ifj. Bertényi Iván: „ha uralkodóként és különösen magyar királyként nem tudta is nemes elgondolásait véghezvinni, és nem volt képes megmenteni népeit a háború szörnyű következményeitől, emberi jósága valóban példaértékű lehet számunkra is” [3]. Koporsója ugyanott, Montéban, a Miasszonyunk templomának egyik oldalkápolnájában található (2. ábra).



2. ábra: IV. Károly király koporsója Montéban, a Miasszonyunk templomban

3. Az ECF konferenciák történetéről

A konferenciát az ESIS – European Society for Structural Integrity – és annak portugál tagszervezete, az SPFIE – Portuguese Structural Integrity Society – szervezte. Az ECF konferenciák sorozata 1976-ban Franciaországban, Compiègne-ben kezdődött meg, az ECF1-gyel, amit akkor még „European Colloquium on Fracture” címmel hirdettek meg [4]. A konferenciákat azóta – normális körülmények közepette – kétéves rendszerességgel hirdetik és tartják meg. Az ECF3-mal kezdődően a konferenciák vezérfonalát egy-egy mottó is jellemzi. Az 1988. szeptemberében tartott ECF7-nek Budapest adott otthont; jelmondata „Failure Analysis – Theory and Practice” volt. A sorozatot 1990-ig az ESIS jogelődje, az EGF (European Group on Fracture) égisze alatt szervezték [4]. Az eddigi ECF konferenciák helyszíneit, időpontjait és azok mottóit ([5] alapján) a következő táblázatba foglaltuk össze:

- ECF1 Franciaország, Compiègne, 1976.
1st European Colloquium on Fracture
- ECF2 Németország, Darmstadt, 1978. október 9-11.
2nd European Conference on Fracture
- ECF3 Anglia, London, 1980. szeptember 8-10.
Fracture and Fatigue
- ECF4 Ausztria, Leoben, 1982. szeptember 22-24.
Fracture and the Role of Microstructure
- ECF5 Portugália, Lisszabon, 1984. szeptember 17-21.
Life Assessment of Dynamically Loaded Materials and Structures
- ECF6 Hollandia, Amszterdam, 1986. június 15-20.
Fracture Control of Engineering Structures
- ECF7 Magyarország, Budapest, 1988. szeptember 19-23.
Failure Analysis – Theory and Practice
- ECF8 Olaszország, Torinó, 1990. október 1-5.
Behaviour and Design of Materials and Structures
- ECF9 Bulgária, Várna, 1992. szeptember 21-25.
Reliability and Structural Integrity of Advanced Materials
- ECF10 Németország, Berlin, 1994. szeptember 20-23.
Structural Integrity: Experiments, Models and Applications
- ECF11 Franciaország, Poitiers, Futuroscope, 1996. szeptember 3-6.
Mechanisms and Mechanics of Damage and Failure of Engineering Materials and Structures
- ECF12 Anglia, Sheffield, 1998. szeptember 14-18.
Fracture from Defects
- ECF13 Spanyolország, San Sebastian, 2000. szeptember 6-9.
Fracture Mechanics: Applications and Challenges
- ECF14 Lengyelország, Krakkó, 2002. szeptember 8-13.
Fracture Mechanics Beyond 2000
- ECF15 Svédország, Stockholm, 2004. augusztus 11-13.
Advanced Fracture Mechanics for Life and Safety Assessments
- ECF16 Görögország, Alexandropolisz, 2006. július 3-7.
Failure Analysis of Nano and Engineering Materials and Structures
- ECF17 Csehország, Brno, 2008. szeptember 2-5.,
Multilevel Approach to Fracture of Materials, Components and Structures
- ECF18 Németország, Drezda, 2010. augusztus 29 – szeptember 3.
Fracture of Materials and Structures from Micro to Macro Scale
- ECF19 Oroszország, Kazany, 2012. augusztus 26-31.
Fracture Mechanics for Durability, Reliability and Safety
- ECF20 Norvégia, Trondheim, 2014. június 30 – július 4.
Fracture at all scales
- ECF21 Olaszország, Catania, 2016. június 20-24.
Fracture and Safety
- ECF22 Szerbia, Belgrád, 2018. augusztus 26-31.
Loading and Environment Effects on Structural Integrity
- ECF23 Portugália, Funchal, 2022. június 27 – július 1.
Fracture Mechanics and Structural Integrity

Az ECF23 kivételesen 4 évvel következett az ECF22 után; ennek oka a 2020 elején kitört Covid járvány volt. Az akkor bevezetett járványügyi korlátozások miatt az eredetileg 2020. június 29. és július 3. közötti idő-intervallumra meghirdetett konferenciát az idei évre halasztották.

4. A konferencia programja

A tudományos program 5 napon át, 8:45-től kezdve általában 18:00-ig tartott. A délelőtti program a meghívott előadók plenáris előadásaival kezdődött. A plenáris blokkot az elfogadott előadások prezentációi követték, egyszerre 6 párhuzamos blokkban. Összesen 12 meghívott plenáris előadás, továbbá a 20 tematikus szekcióban mintegy 500 előadás hangzott el, valamint 62 poszter előadást ismerettek a posztereknek dedikált blokkban.

A plenáris előadások

A plenáris előadások a következő témákba csoportosultak:

1. Polimer kompozitok;
2. Additív gyártástechnológiával készített fémes szerkezeti anyagok;
3. Ridegtörés;
4. Fáradásos öregedés;
5. Biomechanikai kérdések;
6. Hidrogén okozta elridegedés;
7. Feszített vasbeton hidak szerkezetintegritási kérdései.

A plenáris előadásokat – dióhéjban – alább tekintjük át. Megjegyezzük, hogy az ismertetést egy-két helyen némileg kiegészítettük, remélve, hogy az adott témában kevésbé jártas olvasó számára könnyebben áttekinthetővé teszünk néhány olyan részletet, amelyre az előadók csak utaltak, ám részletesen ki nem fejtettek.

Polimer kompozitok

A polimer kompozitok témakörében előzetesen meghirdetett előadások közül csak **P. Camanho** **“Prediction of fracture of polymer composite materials across different length scales”** címen meghirdetett prezentációja [6] hangzott el, mert a többit a meghívott előadók Covid-fertőzöttsége miatt törölték. Az előadás a repülőgépiparban használatos polimer kompozit anyagok, valamint az ezekből épített kompozit szerkezetek károsodási mechanizmusainak és végső tönkremenetelének előrejelzésére alkalmas szoftver kidolgozása érdekében folyó – többskálás modellezési filozófián alapuló – kutatási-fejlesztési munkákról számolt be. A szerkezeti elemek károsodásának és végső tönkremenetelének kellő pontosságú előrejelzése kulcsfontosságú a belőlük alkotott szerkezetek, rendszerek műszakilag megengedhető – biztonságos – üzemidejének meghatározása szempontjából, ezért a fejlesztés célja kellő prediktív erővel bíró, megbízható szimulációs eszközök fejlesztése. Az eddigi kutatás-fejlesztési munkák tapasztalatai azt mutatják, hogy a teljes részletességre törekvő többskálás, valamint a makro- és a mikroskálák közötti hosszskálára koncentrált mezo + mikroskálás modellek segítségével végzett számítások olyan magas erőforrás-igénnyel és számítási költségekkel járnak, amit az iparban nem fogadnak el. Ezért olyan modellek fejlesztésébe kezdtek, amelyek egyfelől mezoskálás modellek, ám a mikroskálán zajló folyamatokról csak a szükséges információkat veszik át. A mikroskálás folyamatokat külön mikromechanikai modelleken követik; a magasabb skálázint által igényelt

információt gépi tanulás segítségével transzformálják át, úgy, ahogy azt a szimulációs eszközben felhasznált elmélet igényei megkövetelik. Az előadás jó példát mutatott arra, miként lehet elméletvezérelt gépi tanulási módszereket felhasználni ipari gyakorlatban is használatos numerikus eszközök fejlesztése során.

Additív gyártástechnológiával készített fémes szerkezeti anyagok

Az utóbbi egy-két évtizedben az additív gyártási módszerek számottevő részt „hasítottak ki maguknak” a technológiák területéből. A konferencián két plenáris előadás foglalkozott additív gyártási technológiákkal kapcsolatos kutatások ismertetésével és azok eredményeinek bemutatásával:

- a. **A. Fatemi: “Fatigue and Fracture of Additively Manufactured Metallic Materials and Components” [7];**
- b. **J. He: “Probing nanoscale mechanical properties of additively manufactured metallic alloys” [8].**

Mindkét előadás igen informatív volt. Mondanivalójuk lényegét a következőképpen foglalhatjuk össze. Az additív gyártási módszerek számos előnnyel bírnak a hagyományos, utólagos megmunkálási eljárásokat is magukba foglaló technológiákkal szemben, mint pl. a kisebb anyagvesztés, a kevesebb gyártási lépésből felépíthető gyártástechnológia és az abból adódó magasabb termelékenység lehetősége, valamint a geometriai formák kialakításának nagyobb szabadsága. Ezért azokat egyre szélesebb körben alkalmazzák nagy teljesítményű alkatrészek előállítására az orvostudomány és a repülőgépgyártás számára, és jelentőségük növekszik az energetikai-, az építő- és az autóiparban is. Az additív módszereket jellemző réteges gyártási eljárás – még kis méretű alkatrészek, szerkezeti elemek gyártása során is – olyan komplex termomechanikai terheléstörténetet indukál az anyagban – kezdetben ismétlődő felolvasztást és gyors megszilárdulást követő erőteljes hűtést, majd a továbbiakban, szilárd állapotban elszenvedett ciklikus termomechanikai fásztó-igénybevétel szekvenciát foglalva magába –, melynek akkumulált hatása a komponens további célokra megengedhető felhasználási idejét erősen befolyásolja. A technológia erősen inhomogén mikroszerkezetet eredményez, amelyet anizotrópia, a nagy gradienssekkel jellemezhető alakváltozási és maradófeszültség mezők, továbbá a mechanikai tulajdonságok inhomogén eloszlásai jellemeznek (az inhomogenitásba beleértve az olyan sajátosságokat is, mint a szerkezeti anyag porozitása). Ezért az így készített darabok erősen nemlineáris reológiai viselkedést mutatnak, szemben a hagyományos gyártási eljárásokkal készített megfelelőikkel, amelyek műszaki szempontból történő jellemzésére a klasszikus szilárdságtanban használt anyagmodellek eddig többnyire megfelelőek voltak. Az additív gyártással készített alkatrészek, komponensek hosszú időtávú viselkedésének megbízható előrejelzésére olyan elméleti modellekre van szükség, amelyek pontosabban képesek figyelembe venni az anyag inhomogenitásainak hatását a károsodási

folyamatokra, ezen felül az élettartam-számításokhoz kidolgozott modelleket az elemzések pontossági követelményeit kielégítő mérésekből származó anyagjellemző paraméterekkel kell ellátni, illetve a számításokat körültekintően kell validálni.

Közbevetőleg jegyezzük meg, hogy az inhomogén anyagok viselkedésének pontos leírására alkalmas elmélet ma még nem létezik; az manapság is intenzív kutatások tárgya. Az anyagi inhomogenitásokat vizsgáló első – kontinuummechanikán alapuló – dolgozatot Eshelby publikálta 1951-ben [9], és a kérdéskörrel egészen élete végéig behatón foglalkozott (ld. pl. [10] és [11]). Az Eshelby gondolatmenetén alapuló tárgyalásmódot azóta többen is (pl. G. Maugin [12], P. Steinmann [13]) továbbfejlesztették; ezt az irányzatot nevezik a szakirodalomban a Konfigurációs Erők – vagy más néven az Anyagi Erők – elméletének. A Konfigurációs Erők elmélete korántsem tekinthető lezártnak, azonban annyiban mindenképpen fejlettebb a tisztán mechanikai alapú elméletknél, hogy a termodinamikailag konzisztens – azaz a termodinamika második főtételének megfelelő – leírás ebben a modellben alapvető követelmény. Ezért az elmélet ígéretes keretrendszernek tűnik olyan törésmechanikai modellek számára is, amelyek várhatóan disszipatív és inhomogén mikroszerkezettel rendelkező anyagok esetén is működőképesek lesznek. Az anyag inhomogén mivoltát termodinamikai értelemben konzisztensen tárgyaló modellek kidolgozása olyan, mélyebb elméleti kérdések átgondolását és tisztázását is igényli, mint a homogenizáció és az állapotok időben történő fejlődésének (amit röviden időfejlődésnek is nevezünk) egymáshoz való viszonya. A Konfigurációs Erők elmélete és egyéb termodinamikai megfontolások segítségével kimutatták, hogy az inhomogén anyag-eloszlásokkal jellemezhető struktúrák – mint pl. egy próbatest vagy alkatrész – állapota (beleértve a vizsgált rendszer térbeli mozgását, alakváltozási, feszültségi állapotát, az anyagi alkotók egymáshoz viszonyított mozgását, a mikrostruktúráját, a hőmérsékletet és az entrópiát) az idő előrehaladtával egészen más 'trajektóriák' mentén fejlődik az állapotterben, mint a homogén anyagú struktúrák. Az állítás oka matematikai: egy inhomogén eloszlásokkal rendelkező, véges térfogatú struktúra állapota időbeli fejlődésének vizsgálata során a térfogati átlagolás és az időbeli integrálás művelete nem cserélhető fel [14], azaz nem mindegy, hogy először képzik az állapotot jellemző fizikai mennyiségek térfogati átlagát, majd azokat alapul véve határozzák meg, hogy a rendszer adott időintervallumon milyen állapotba fejlődik, vagy először határozzák meg a fizikai mennyiségek időfejlődését az adott időintervallumon, majd utána képeznek térfogati átlagokat. Amennyiben az eredeti inhomogén és a kezdetben homogenizált rendszer végállapotaiban meghatározott fizikai mennyiségeket lokálisan vetik össze, akkor a különbségek több helyen még jelentősebbek lehetnek, mint a megfelelő átlagolt értékek közötti különbségek.

Bár az előadásokban ismertetett kutatásokat jól érzékelhetően nem az említett elméleti keretrendszerre alapozták, az előadók kiemelték, hogy az additív technológiával

gyártott alkatrészek – tapasztalatok szerint – erősen inhomogén mikroszerkezete és anyagtulajdonságai miatt a roncsolásos anyagvizsgálatokat úgy tervezik meg és hajtják végre, hogy azokból a szerkezeti anyag – adott hosszskálán érvényes – átlagos viselkedésén/tulajdonságain túlmenően az anyag különböző helyeken megfigyelhető lokális viselkedésére és tulajdonságaira vonatkozóan is megfelelő mennyiségű és minőségű információt lehessen kinyerni. Ezt elrendő, a hagyományos mechanikai anyagvizsgáló módszereket – mint pl. a makroszkopikus szakító- vagy a nyomóvizsgálatok – kiegészítik a lokális mechanikai tulajdonságok vizsgálatára alkalmazható módszerekkel, mint pl. a nanoindentációs eljárás. Ugyancsak az erősen inhomogén anyagszerkezet miatt ezeken az anyagokon a fásztóvizsgálatokat úgy végzik, hogy azok a várható valós terheléstörténetet a lehető legjobban szimulálják. A komplex, változó amplitúdójú terhelési szekvenciák hatására kialakuló élettartam ugyanis szignifikánsan eltér attól, amit a műszaki életben elterjedt – a klasszikus fásztóvizsgálatok eredményeire és a lineárisan halmozódó károsodások elméletére – épített számítások jósolnak.

Ridegtörés

A ridegtörés klasszikusnak tekinthető témájával a következő két prezentáció foglalkozott:

- a. **C. Ruggieri: “Revisiting Cleavage Fracture Modeling in Steels: From the Griffith Assumption to the Beremin Model, and Beyond” [15];**
- b. **D. Leguillon: “Finite Fracture Mechanics to predict the initiation of new cracks in brittle materials” [16].**

C. Ruggieri [15] a ridegtörés elméletének immár évszázados fejlődési ívét tekintette át. A ridegtörés jelentőségére a mérnök-társadalom a XIX. század vége felé kezdett ráébredni, amikor a katasztrofális ipari balesetek gyakorisága számottevően emelkedni kezdett. Inglis 1913-ban vizsgálta meg részletesen a síklemezekben elhelyezkedő ellipszis alakú kivágások, valamint éles élek körüli feszültségállapotot [17]; ebből a tanulmányból származik a feszültségkoncentráció tényező fogalma. Inglis gondolatmenetét felhasználva és azt energetikai megfontolásokkal kiegészítve alkotta meg 1920-ban Griffith az azóta róla elnevezett repedés-stabilitási kritériumot [18]. A Griffith-féle elmélet lineárisan rugalmas, üvegszerűen rideg anyagokra érvényes. A modell 1930-as és 1950-es évek közötti legkiemelkedőbb továbbfejlesztőjének Orován Egon és George Irwin tekinthető, akik a Griffith-féle kritériumot – a repedés éle körüli helyi plasztikus alakváltozás okozta disszipációt is figyelembevéve – úgy módosították, hogy az alkalmassá vált a képlékeny alakváltozásra hajlamos fémek anyagokban található repedések körüli viszonyok tárgyalására is (ld. [19] és [20]). Az 1950-es évek második felében Irwin kapcsolta össze a repedés éle körüli feszültségmező leírására koncentráció elméleti mechanikai leírást az energetikai megfontolásokkal, bevezetve a feszültségintenzitási tényezőt [21], amely matematikailag a repedésél körüli feszültségmező szinguláris sorfejtése

első tagjának együttthatója (ld. pl. [22] és [23]); fizikailag a repedés élén fellépő termodinamikai hajtóerőt reprezentálja. Ez a törésmechanikai modell a lineárisan rugalmas törésmechanika – Griffith-Irwin-Orován elméletnek is nevezik [24] –, amelyet azóta széles körben alkalmaznak szén- és gyengén ötvözött acélokból készült – elsősorban nagyméretű – berendezések szerkezetintegritási elemzése során. A Griffith-Irwin-Orován elmélet azonban nem képes leírni a kényszerek törési viselkedésre gyakorolt hatását, és nem veszi figyelembe a ridegtörés erős függését a mikroszerkezettől. Ezek a problémák vezettek a mikromechanikai alapú, ún. „local approach” módszerek megjelenéséhez, melyek közül a Beremin csoport úttörő publikációjából [25] kifejlődő, a leggyengébb láncszem filozófiájára alapozott modellek tekinthetők a legsikeresebbeknek.

Az előadás a rideg/hasadásos törés kulcsfontosságú aspektusait tekintette át: az alapokat, a törési forma hőmérséklet-függését, a kísérleti hátteret, valamint a jelenség leírását célzó elméleti alapú modellezési irányzatokat, ideértve a különböző mikro- és mezoskálás közelítéseket és a valószínűségi alapú modelleket is. Bár manapság soha nem látott teljesítményű informatikai erőforrások állnak a számítások rendelkezésére, be kell látni, hogy a ridegtörés alapjainak jelenlegi megértési szintje és az erre épülő módszertan teljesítőképessége ugyancsak korlátozott. Eddig még nem sikerült olyan elméleti leírást és arra épülő modellrendszert kidolgozni, amelyik képes lenne a modell részletezettségétől – bizonyos határok között – többé-kevésbé függetlenül, kellő megbízhatósággal prediktív eredményeket szolgáltatni.

A kutatások mai állása szerint – a repedések viselkedésének pontosabb leírása érdekében – az összes releváns mechanikai, metallurgiai és termodinamikai mikro-jellemzőt/paramétert be kell építeni a kutatások céljára kidolgozott modellekbe (ezzel kiemelve egy alaposabb, alaputatásokban használható modell kidolgozásának igényét); ugyanakkor a mérnöki alkalmazásoknak olyan, minél egyszerűbb, de mégis hatékony modellekre van szükségük, amelyekkel a bonyolult helyzetekben, összetett szerkezetekben fellépő elemzések szerényebb erőforrás-igényekkel hajthatók végre, a számítások eredményei viszont teljesítik az elvárt pontossági és megbízhatósági követelményeket. Ennek következtében a kutatások során és a mérnöki alkalmazásokban használt modellek, különösen pedig azok implementációi, eltérnek egymástól.

D. Leguillon előadásában [16] egy kifejezetten mérnöki szemléletű modellt ismertetett, amelyet a véges törésmechanika általa kidolgozott változatának nevez. Az elmélet a klasszikus Griffith-féle törésmechanika alapjait kielégítő, rugalmas-rideg anyagmodell estén érvényes. Leguillon célkitűzése a klasszikus Griffith-féle törésmechanika olyan kiegészítése volt, hogy az az új repedések keletkezését képes legyen előre jelezni. C. Ruggieri előadásában [15] is elhangzott, hogy a makroszkopikus közelítés a komplex mikroszerkezetet és a mikromechanizmusokat részletesen követő modellezési stratégiákkal szemben azzal az előnnyel bír, hogy a makroszkopikus modellek kevés

anyagparamétert igényelnek, és a rájuk épített szimulációk lényegesen takarékosabban bánnak az erőforrásokkal, mint például a kohéziós zónamodelleken vagy a különféle fázismező-elméleteken (ezeket a modelleket a szekciók munkáját bemutató részben majd kissé bővebben ismertetjük) alapuló számítások. A műszaki életben az egyszerű, olcsón és gyorsan végrehajtható elemzéseket mindig is kedvelték, tudomásul véve, hogy pontosságuk és érvényességük sokkal korlátozottabb, mint a részletgazdagabb, lényegesen több információn alapuló, komplex modellekre alapozott számításoké, amelyek sokkal több erőforrást igényelnek. Az előadó egy úgynevezett kettős kritériumon alapuló modellt ismertetett, amely: (1) az anyag szívósságán; és (2) a szakítószilárdságon alapszik. A kritérium szerint egy már meglévő repedés terjedése akkor indul meg, amikor a feszültségintenzitási tényező eléri a törési szívósság kritikus értékét; egy folytonos környezetben repedés keletkezése ott várható, ahol a következő kettős feltétel teljesül: (a) a feltételezett repedés élen ható húzófeszültség nagyobb, mint az anyag szakítószilárdsága, (b) a potenciálisan l hosszúságúra megnövekvő repedés megjelenése során felszabaduló energia elég nagy. A feltételből következően a repedés keletkezése instabil folyamat: a repedés ugrásszerűen jelenik meg, és a tágabb környezeti feltételektől függően vagy instabilan tovább növekszik, vagy stabilizálódik és megáll. Az elméletet mára szoftverbe is implementálták.

Fáradásos öregedés

A fáradásos öregedés problémakörét a következő négy előadás érintette:

- a. **A. Bosch, M. Vormwald:** *“Dependence of fatigue life on the sequence of individual load cycles of different amplitudes and mean values explained by fracture mechanics”* [26];
- b. **M. Kuna:** *“Simulation of anisotropic thermomechanical fatigue crack growth in nickel base alloys”* [27];
- c. **Y. Hong:** *“Revisiting characteristic region description for crack initiation in very-high-cycle fatigue”* [28];
- d. **F. Berto:** *“Creating a new generation of functional multi-material fatigue resistant solid-state joints”* [29].

A. Bosch és M. Vormwald előadása [26] a fáradásos igénybevételek során fellépő ún. szekvenciahatással foglalkozott. A műszaki gyakorlatban általánosan elterjedt Palmgren-Miner szabály [30,31] – repedések fáradásos terjedése esetén a Paris-Erdogan szabály [32] – nem veszi figyelembe az egyes terhelési ciklusok sorrendjét, márpedig a műszaki alkotások az időben erősen változó terhelések sorozatait/szekvenciáit szenvedik el, amelyek különböző amplitúdókkal, átlagértékekkel és hőmérsékletekkel jellemezhetők. A terhelések időbeli eloszlása – amelyet terheléstörténetnek nevezünk –, illetve a terhelések szekvenciái egy berendezés vagy rendszer élettartamát befolyásolják. Azokat a fáradásos elemzéseket, amelyek figyelembe veszik a terhelési ciklusok szekvenciáit, szekvenciakövető fáradásos számításoknak nevezik. Szekvenciahatásnak azt a különbséget nevezik, amely a szekvenciakövető és az egyszerű Palmgren-Miner vagy

Paris-Erdogan szabályon alapuló élettartam-számítások eredményei között fennáll. Egy komponens változó amplitúdójú terhelések hatására kialakuló fáradásos élettartamát a különböző komplex terhelési szekvenciák határozzák meg. A komponens üzeme során a különböző szekvenciák felerősíthetik vagy éppenséggel ki is kiolthatják egymást. Az előadás foglalkozott azzal a kérdéssel is, hogy a túlterhelések miként hatnak egy komponens várható élettartamára, amennyiben abban rövid, illetve hosszú repedések találhatóak. A törésmechanikai elemzések szerint egy rövid repedéseket tartalmazó komponens fáradásos élettartamát egy túlterhelés csökkenti, míg egy hosszú repedést tartalmazó alkatrész fáradásos élettartama egy túlterhelés hatására többnyire megnövekszik. Az előadás alapját képező kutatás során a freiburgi Fraunhofer IWM-mel együttműködve kiterjedt kísérleti adatbázist készítettek különböző szekvenciák hatásainak számszerűsítésére, és a kidolgozott modellek validálására. A vizsgálati programban ausztenites 1.4550-es rozsdamentes acélból, valamint annak varratából (X6CrNiNiNb18-10 / AISI 347) készített sima és bemetszett próbatesteket használtak. A fárasztás során többféle terhelési sorozatot alkalmaztak (állandó amplitúdójú alap, kétlépcsős, nyolclépcsős és üzemi terhelési sorozat). A bemutatott eredmények érdekesek, ám az előadás rámutatott arra a tényre is, hogy az ipari környezetben működő komponensek időfüggő, komplex terheléstörténeten alapuló élettartam-számításai módszertanának további fejlesztése manapság is idősebb feladat.

M. Kuna előadása [27] a nikkelbázisú ALLVAC R718Plus szuperötvözet termomechanikai fáradásának leírására és annak mérnöki alkalmazásokban történő felhasználásra alkalmas elméleti modell fejlesztése, validálása és valós műszaki probléma megoldásában történő alkalmazása érdekében végzett kutató-fejlesztő munkát ismertette. Az ALLVAC R718Plus szuperötvözet a komplex termomechanikai terheléseknek kiválóan ellenáll, ezért igen jó szerkezeti anyagnak tekinthető olyan szerkezetekben, ahol a hibátűrő konstrukció ma már alapkövetelmény, mint pl. a repülőgépek hajtómű-turbinák tengelyei és lapátjai. Az ALLVAC R718Plus anizotróp szerkezeti anyag, melynek anizotrópiáját lemezkeszerű kiválások okozzák. Termomechanikai fáradása során a benne található repedés növekedésének mértéke és iránya az üzem közbeni terhelési ciklusoktól – ideértve a hőmérsékletet is – és az anyag lokális orientációjától egyaránt függ. A szerkezeti anyag anizotrópiája a repedés növekedését kiváltképp magas hőmérsékleten befolyásolja. Ugyancsak az anizotrópia következtében a repedés élének fejlődési/terjedési irányai a maximális főfeszültség irányától különböznek, és sokkal komplexebbé válnak, mint az egy izotrópnak tekinthető közegben várható lenne. Annak érdekében, hogy egy még tervezés alatt álló alkatrész specifikációban megkívánt élettartamát garantálni lehessen, a tervezői biztonsági számítások során az említett speciális tulajdonságokat figyelembe kell venni. Az előadó egy olyan repedésterjedési kritériumot ismertetett, amely az említett szerkezeti anyag speciális anizotróp tulajdonságai mellett az elvárt

ponctossággal, megbízhatóan írja le a repedés terjedését. A kutatások eredményeként kidolgozott modellt numerikus szoftverbe implementálták. Az előadó beszámolt a modell validálásának menetéről, továbbá megmutatta annak egy tipikus turbina-alkatrész tervezése során történt alkalmazását is.

Y. Hong prezentációja [28] a rendkívül nagy ciklusú fáradással (very-high-cycle fatigue) foglalkozott. A rendkívül nagy ciklusú fáradás jelensége mindenekelőtt arra hívja fel a figyelmet, hogy a valóságban nem létezik olyan szerkezeti anyag, amely végtelen számú terhelési ciklust lenne képes elviselni, még ha klasszikus kísérletek eredményei alapján egyesek ilyen várakozásokkal élnének is. Az újabb kutatások szerint egy fémes szerkezeti anyagban a repedés akkor is megindul, ha a klasszikus fáradástólvizsgálatok eredményeit leíró elméleti modellek alapján nem ezt várják. Az előadó és az általa irányított kutatócsoport eddigi kutatásai is nagyban hozzájárultak annak bizonyításához, hogy a jelenség létezik, bár az oka a mai napig nem tisztázott. Minden valószínűség szerint arra vezethető vissza, hogy a szerkezeti anyag inhomogén, és a „gyengébb” zónákban akkor is megindulhat egy repedés, ha egy homogenizált modell alapján nem számítanak rá. A jelenség leírását célzó elméleti modell kidolgozása során az előadó és munkatársai bevezették az úgynevezett karakterisztikus régió, és az annak kialakulásához vezető „nagy számú ciklikus nyomóterhelés” fogalmát. Az előadás érdekes volt, ám részletesebb ismertetése meghaladná a jelen beszámolóban rendelkezésre álló kereteket, mert még érzékelhetően kiforratlan, ám intenzív kutatások alatt álló terület.

F. Berto előadása [29] multifunkcionális technológiák fejlesztésének kérdéseivel foglalkozott. A multifunkcionális alkatrészekbe vékony rétegekben elektromos, mechanikai, fluid és optikai eszközöket integrálnak. A rétegeket megfelelő technológiával épített kötések tartják össze. Nyilvánvaló, hogy egy komponens megbízhatósága nagymértékben függ a benne alkalmazott kötések stabilitásától. Ezért a kötésekkel szemben alapvető elvárás, hogy hosszú időn át álljanak ellen a fárasztó terhelések okozta öregedésnek. Az előadó különböző szilárdtesthegesztési technikákat ismertetett, bemutatva a terület néhány újabb és érdekes fejlesztési irányát, melyek célja az említett, nagy fáradásállóságú kötések létrehozása. Bemutatta, miként tudtak a makroszkopikus, alacsony hőmérsékletű fémkötések technológiai fejlesztései során elért eredmények alapján egy teljes mértékben ellenőrzött mikroméretű kötési eljárást létrehozni. Az előadó vezette fejlesztések távolabbi célja az alacsony hőmérsékletű kötési technológia nanoskálára történő átvitele.

Biomechanikai kérdések

V.V. Silberschmidt *“Mechanical behaviour of biomedical materials”* című előadása [33] a gyógyászatban felhasznált szerkezeti anyagok biomechanikai problémáiból adott ízelítőt. A biomechanika az orvosi biológiai alkalmazásokhoz kapcsolódó mechanikai problémák elemzésének tudománya, melynek fejlődését nagyrészt a személyre szabott

orvoslás igényei inspirálják. A biológiai szövetek mechanikájáról, tulajdonságairól, valamint az orvosi biológiai eszközökkel való kölcsönhatásokról azonban – a témakör elmúlt évtizedekben tapasztalható rohamos fejlődése ellenére – csak korlátozott ismeretekkel rendelkezünk. Az előadás a kollagén és az orvosi eszközökben használt biopolimerek kölcsönhatásait, továbbá a kölcsönhatásoknak a biopolimerek öregedésére gyakorolt hatását ismertette.

Hidrogén okozta elridegedés

Z. Zhang *„Void-based predictive framework for hydrogen embrittlement”* című előadása [34] a szerző és munkatársai szerkezeti anyagok hidrogén okozta elridegedés modellezése terén végzett kutatásait ismertette. A hidrogén indukálta öregedés kutatása az utóbbi években intenzíven fejlődik, mert a hidrogén-alapú technológia fejlesztése erre igényt támaszt. A hidrogén indukálta öregedés során egy szerkezeti anyag törése tranzgranulárisból kvázi-hasadásos és intergranuláris típusúba vált át; a törési típus átmenetét okozó belső mechanizmusokat még nem értjük. Hiányzik egy olyan prediktív erejű elmélet, amely az átmenet folyamatát kellő mélységben képes lenne megragadni. Z. Zhang előadását a mechanizmus atomisztikus vizsgálatainak eredményeire alapozta, melyek szerint a szerkezeti anyagban a folyamat során a repedések kialakulásához vezető dekohéziót megelőzően nanoszintű üregképződési folyamat játszódik le, és ez a folyamat a dekohézió körülményeit alapvetően határozza meg. A nanoszintű szimulációk eredményei alapján – amelyeket olyan kísérleti bizonyítékokkal támasztanak alá, hogy az üregek mindig megtalálhatók a hidrogén indukálta törésfelületeken – az öregedési mechanizmus okozta képlékeny-rideg átmenet modellezésére egy void-alapú modellt fejlesztenek. A modell a Gurson-Tvergaard-Needleman (GTN) féle elméletből [35-38] indul ki – amely a képlékeny tönkremenetelt az üregek nukleációjával, növekedésével és összenövésével írja le –, azonban azt kiterjesztették a dekohézió okozta tönkremenetelre is. Hidrogén hiányában az üregek összenövésével vezérelt képlékeny tönkremeneteli mechanizmus érvényesül. A hidrogénkoncentráció növekedésével az üregek összenövése okozta tönkremenetel valószínűségét fokozatosan felváltja a dekohézióé, amelyet a hidrogéntartalom által befolyásolt dekohéziós tönkremeneteli kritérium vezérel. Az előadó várakozásai szerint a javasolt modell – a hidrogéndiffúzió leírásával párosítva – képes leírni a megfelelő öregedési folyamatot. A modellt először a laboratóriumi kísérletek értelmezésének támogatására használják, és remélik, hogy a laboratóriumi eredmények átvihetők lesznek a megfelelő mérnöki komponensek szerkezetintegritási vizsgálataira.

Feszített vasbeton hidak szerkezetintegritási kérdései

G.A. Ferro előadása [39], amely a *„Structural Integrity of prestressed bridges”* címet viselte, a nagyméretű, feszített vasbetonszerkezetű hidak szerkezeti integritásának néhány alapvető kérdéséről szólt. 2014 és 2018 között Olaszországban öt nagyobb, feszített vasbetonszerkezetű közúti/autópálya híd omlott össze: 2014-ben a Petrulla

viadukt, 2016-ban az Annone autópálya-felüljáró, 2017-ben az Ancona felüljáró és a Fossano viadukt, 2018-ban a Polcevera viadukt – vagy más néven Morandi híd –. Az említett eseteken túlmenően, a világban az utóbbi évtizedekben másutt is több nagyobb méretű vasbetonhíd omlott össze. Bár az említett katasztrófák konkrét körülményei nagymértékben különböztek, azok hátterében ugyanaz a mélyebb ok – emberi mulasztások sorozata – húzódott meg, amit az előadó úgy fogalmazott meg, hogy „*az üzemeltetők és a felülvizsgálók ismeretei a meglévő szerkezetek tényleges szerkezeti állapotáról erősen hiányosak voltak*”. Ismerethiányon olyan problémákat kellett érteni, mint például a megfelelő konstrukciós biztonsági tartalék, valamint a megépített állapotot pontosan rögzítő dokumentáció hiánya – általánosan fogalmazva a minőségbiztosítás elégtelensége –, továbbá a terhelési adatok gyűjtésében és a szerkezeti anyagok öregedési folyamatai nyomon követésében történt mulasztások. Ez utóbbi az előírt felülvizsgálatok elhanyagolását vagy rossz minőségű végrehajtását jelenti. Mivel Olaszország úthálózatán nagy számban található olyan vasbeton hidak, amelyek életkora 40-50 év körül járhat, azok biztonságos élettartamának vizsgálatait megbízható alapokra kell helyezni. Az előadó az ezirányú vizsgálatokba engedett betekintést, és a prezentáció zárásaként egy, a hídszerkezetekre kidolgozás alatt álló szerkezetintegritási koncepciót körvonalazott. Megjegyezzük, hogy az elképzelés hasonlít az általunk az Energiatudományi Kutatóközpontban – elsősorban atomerőművi nagyberendezések szerkezetintegritási vizsgálatára – fejlesztett módszertanra.

5. Az ESIS Council meeting

A konferencia második napján rendezték meg az ESIS Council meetinget. Mivel Dr. Trampus Péter, az ESIS Magyarország elnöke az ESIS Council meetingen személyesen nem tudott megjelenni, felkérésére azon a szerző képviselte Magyarországot. Az értekezleten a 2018-ban Belgrádban megválasztott – Francesco Iacoviello vezető – elnökség mandátuma lejárt, ezért a napirendi pontok között az új vezetőség megválasztása is szerepelt. A leköszönő elnök beszámolt az elmúlt négy év munkájáról, amelyet 2020-tól kezdődően a Covid járvány, az utolsó fél évben pedig az orosz-ukrán konfliktus tett különösen nehezzé. A beszámoló után választottuk meg az ESIS elnökét a következő négyéves ciklusra. Az új elnök Alexander Sedmak, a Belgrádi Egyetem professzora, alelnökei: Filippo Berto és Liviu Marsavina, az ESIS titkára Pedro Moreira, aki nem mellesleg az ECF23 szervezőbizottságának társelnöke volt. A választást követően Željko Božić bemutatta a 2024-ben Zágrábban megrendezendő ECF24 szervezési munkáinak helyzetét. Az ECF25 (2026) megrendezésére Athén (Athéni Egyetem) és Sevilla (Sevillai Egyetem) pályázott. A két helyszín közül a jelenlévők többsége szavazással Athént választotta.

6. Összefoglalás

Az ECF23 konferenciát az ESIS – normális körülmények

között – minden második évben megszervezett konferenciáinak sorozatában kivételesen nem a 2018-ban tartott ECF22-t követő második, hanem – a 2020 elején kitört Covid-járvány miatt – az ECF22 utáni negyedik évben tartották, Madeira fővárosában, Funchalban. Jelmondata „*Fracture Mechanics and Structural Integrity*” volt. A konferencia programja 12 meghívott plenáris, továbbá a 20 tematikus szekcióban mintegy 500 előadást tartalmazott. A plenáris előadásokat hét, manapság szakmai szempontból jelentősnek tekintett témakörből válogatták: (1) polimer kompozitok; (2) additív gyártástechnológiával készített fémes szerkezeti anyagok; (3) ridegtörés; (4) fáradásos öregedés; (5) biomechanikai kérdések; (6) hidrogén okozta elridegedés; (7) feszített vasbeton hidak szerkezetintegritási kérdései. Az előadók az egyes témakörök nemzetközileg nagy reputációval rendelkező kutatói voltak. A prezentációkat magas szakmai színvonal és az előadók közérthetőségre törekvő előadásmódja jellemezte. A szekciókban végzett munkát írásunk második részében mutatjuk be.

Fekete Tamás

Irodalomjegyzék

- [1] Madeira: <https://en.wikipedia.org/wiki/Madeira> (hozzáférés: 2022.09.02.)
- [2] Google térkép: <https://www.google.com/maps> (hozzáférés: 2022.09.02.)
- [3] ifj. Bertényi Iván, IV. (Boldog) Károly, Korunk, 27 8 54–63. (2016)
- [4] François, D., From the European Group on Fracture to the European Structural Integrity Society. Mater Sci 32 531–536 (1996). <https://doi.org/10.1007/BF02539062>
- [5] ECF23 honlapja: <https://www.ecf23.eu/ecf-history/> (hozzáférés: 2022. 09. 10.)
- [6] Camanho, P., 2022. Prediction of fracture of polymer composite materials across different length scales, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [7] Fatemi, A., 2022. Fatigue and Fracture of Additively Manufactured Metallic Materials and Components, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [8] He, J., 2022. Probing nanoscale mechanical properties of additively manufactured metallic alloys, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [9] Eshelby, J.D., 1951. The Force on an Elastic Singularity, Philosophical Transactions of the Royal Society of London A 244 87–112. <https://doi.org/10.1098/rsta.1951.0016>
- [10] Eshelby, J. D., 1970. Energy Relations and the Energy-Momentum Tensor in Continuum Mechanics, In: Kanninen, M. F., Adler, W. F., Rosenfield, A. R., Jaffee, R. I., (Eds), Inelastic behavior of Solids, McGraw-Hill, New York, pp. 77-115.
- [11] Eshelby, J. D., 1975. The elastic energy-momentum tensor, Journal of Elasticity, 5 321-335. <https://doi.org/10.1007/BF00126994>
- [12] Maugin, G. A., 2010. Configurational Forces. Thermomechanics, Physics, Mathematics and Numerics. CRC Series: Modern Mechanics and Mathematics. CRC Press Taylor&Francis Group Boca Raton, London, New York
- [13] Steinmann, P., 2022. Spatial and Material Forces in Nonlinear Continuum Mechanics. A Dissipation-Consistent Approach. In: Solid Mechanics and Its Applications 272. Springer Nature, Cham.

- <https://doi.org/10.1007/978-3-030-89070-4>
- [14] Wiegand, A., Buchert, T., 2010. Multiscale approach to inhomogeneous cosmologies, Talk presented at the workshop New Directions in Modern Cosmology, Leiden, The Netherlands, 27.9.-1.10.2010. arXiv:1103.1531v1 (Bár a publikáció kozmológiai témájú, az abban felhasznált megfontolások értelemszerűen átemelhetők az általunk ismertetett elméletbe is.)
- [15] Ruggieri, C., 2022. Revisiting Cleavage Fracture Modeling in Steels: From the Griffith Assumption to the Beremin Model, and Beyond, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [16] Leguillon, D., 2022. Finite Fracture Mechanics to predict the initiation of new cracks in brittle materials, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [17] Inglis, C.E., 1913. Stresses in a Plate Due to the Presence of Cracks and Sharp Corners, Transactions of the Institute of Naval Architects 55 219–230.
- [18] Griffith, A.A., 1921. The phenomena of rupture and flow in solids, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A. 221 163-198.
- [19] Orowan, E., 1949. Fracture and Strength of Solids, Reports on Progress in Physics, 12 185-232.
- [20] Irwin, G.R., 1948. Fracture Dynamics, in: Fracturing of metals: a seminar on the fracturing of metals held during the twenty-ninth National metal congress and exposition, Chicago, October 18 to 24, 1947, ASM International, Cleveland. pp. 147-166.
- [21] Irwin, G.R., 1957. Analysis of stresses and strains near the end of a crack traversing plate, Journal of Applied Mechanics, 24 361-364.
- [22] Primas, H., 1998. Emergence in exact natural sciences, Acta Polytechnica Scandinavica 91 83-98.
- [23] Primas, H., 2017. Knowledge and Time, Edited by Harald Atmanspacher. Springer Nature, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-47370-3>
- [24] Chen, X.H., Mai, Y.W., 2013. Fracture Mechanics of Electromagnetic Materials. Nonlinear Field Theory and Applications. Imperial College Press, London.
- [25] Beremin, F.M., 1983. A local criterion for cleavage fracture of a nuclear pressure vessel steel, Metallurgical and Materials Transactions A, 14 2277-2287. <https://doi.org/10.1007/BF02663302>
- [26] Bosch, A., Vormwald, M., 2022. Dependence of fatigue life on the sequence of individual load cycles of different amplitudes and mean values explained by fracture mechanics, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [27] Kuna, M., 2022. Simulation of anisotropic thermomechanical fatigue crack growth in nickel base alloys, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [28] Hong, Y., 2022. Revisiting characteristic region description for crack initiation in very-high-cycle fatigue, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [29] Berto, F., 2022. Creating a new generation of functional multi-material fatigue resistant solid-state joints, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [30] Palmgren, A.G., 1924, Die Lebensdauer von Kugellagern. VDI Zeitschrift, 68 14 339–341.
- [31] Miner, M.A., 1945. Cumulative Damage in Fatigue. Journal of Applied Mechanics, Transactions of the ASME, 67 159–164.
- [32] Paris, P.C., Erdogan, F., 1963. A critical analysis of crack propagation laws, Journal of Basic Engineering, 85 4 528–533. <https://doi.org/10.1115/1.3656900>
- [33] Silberschmidt, V.V., 2022. Mechanical behaviour of biomedical materials, presentation, ECF23 Conference, Funchal.
- [34] Zhang, Z., 2022. Void-based predictive framework for hydrogen embrittlement, presentation, ECF23 Conference, Funchal
- [35] Gurson, A.L., 1977. Continuum Theory of Ductile Rupture by Void Nucleation and Growth. Part I – Yield Criteria and Flow Rules for Porous, Ductile Materials, Journal of Engineering Materials and Technology 99 2-15.
- [36] Tvergaard, V., 1981. Influence of Voids on Shear Band Instabilities under Plane Strain Conditions, International Journal of Fracture 17 4 389-407.
- [37] Tvergaard, V., Needleman, A., 1984. Analysis of the Cup-Cone Fracture in a Round Tensile Bar, Acta Metallurgica et Materialia 32 1 157-169.
- [38] Tvergaard, V., Needleman, A., 2006. Three Dimensional Microstructural Effects on Plane Strain Ductile Crack Growth, International Journal of Solids and Structures 43 6165-6179.
- [39] Ferro, G.A., 2022. Structural Integrity of prestressed bridges, presentation, ECF23 Conference, Funchal



ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA PUBLIKÁLJON NÁLUNK!

Írjon szakmai vagy általános
témájú cikket

az

Anyagvizsgálók Lapjába!

Részletekért látogassa meg honlapunkat,
vagy írjon az alábbi email címek valamelyikére:

info@anyagvizsgaloklapja.hu
avilap.szerk@gmail.com

www.avilap.hu

Rovataink:

Állapotellenőrzés, élettartam gazdálkodás,
Minőségbiztosítás (minőség, megbízhatóság),
Roncsolásos / Mechanikai vizsgálatok,
Anyag, anyagszerkezet,
Hallgatók cikkei,
Hírek,
Portré,
Mértőldkövek,
Fórum,
Nekrológ,
Bemutatójuk...