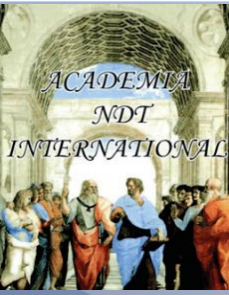




DUNAÚJVÁROSI EGYETEM
UNIVERSITY OF DUNAÚJVÁROS



Hozzájárulás a mérnöki szerkezetek biztonságához

Trampus Péter
professor emeritus
trampus@uniduna.hu

Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2021
2021. június 24.

Az előadóról

- Okl. gépészmérnök (1972)
- Okl. képlékenyalakítási szakmérnök (1979)
- CSc (1985), DSc (2007) anyagtudomány
- Habilitált egyetemi tanár (2008)
- Professor emeritus (2017)
- Csepeli Acélmű (1972 – 81)
- Paksi Atomerőmű (1982 – 96)
- International Atomic Energy Agency, Vienna (1996 – 2003)
- Institute for Energy of EC's Joint Research Centers, Petten (2003 – 04)
- Konzultáns (2004 –)
- Egyetemi tanár (2008 – 2011)
- Kutató professzor (2011 – 2017)

Tartalom

- A szerkezeti integritás elemzése
- „Szerkezetintegritási és roncsolásmentes vizsgáló” szakmérnöki kurzus a Debreceni Egyetemen
- A szakmérnökök kompetenciája

Hír: 2020. 10. 20

Tizenhét hallgató részvételével indult el a Magyarországon egyedülálló, és világviszonylatban hiánypótlónak számító új szakirányú továbbképzés Debreceni Egyetem Műszaki Karán.



MéRNÖKI szerkezetek biztonsága =

ÉPSÉG + MŰKÖDŐKÉPESSÉG

azaz

SZERKEZETI INTEGRITÁS + FUNKCIONÁLIS INTEGRITÁS

(szerkezeti integritás $\approx$ szerkezetintegritás)

Szerkezeti integritás

A berendezés / szerkezet azon **állapota / képessége**, amelyben képes ellátni **alapfunkcióit**, azaz biztosítja – elsősorban, de nem kizárólagosan:

- a **terhelések** (erők, nyomatékok) és a **környezeti hatások** (hőmérséklet, korrozív közeg, neutronsugárzás, stb.) **elviselését**,
- a **nyomás határolását** (nyomástartó berendezések),
- a közeg tartásához és áramlásához szükséges megfelelő **térfogatot** és **keresztmetszetet**

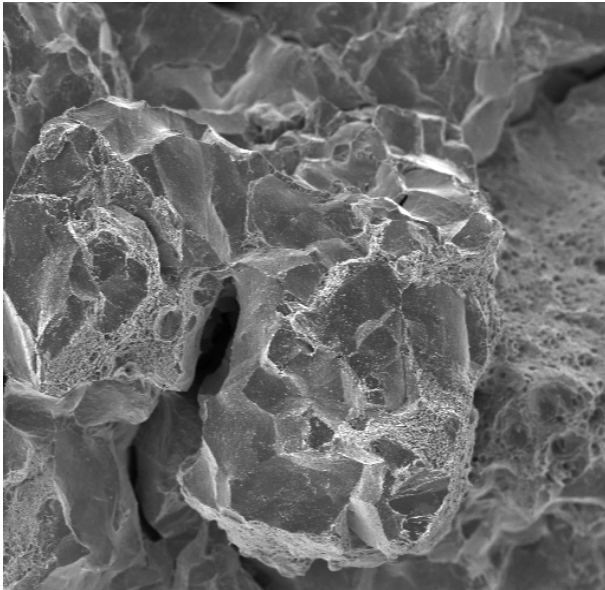
Elemzése viszonylag új, a mérnöki területeket integráló tudomány terület

Célja:

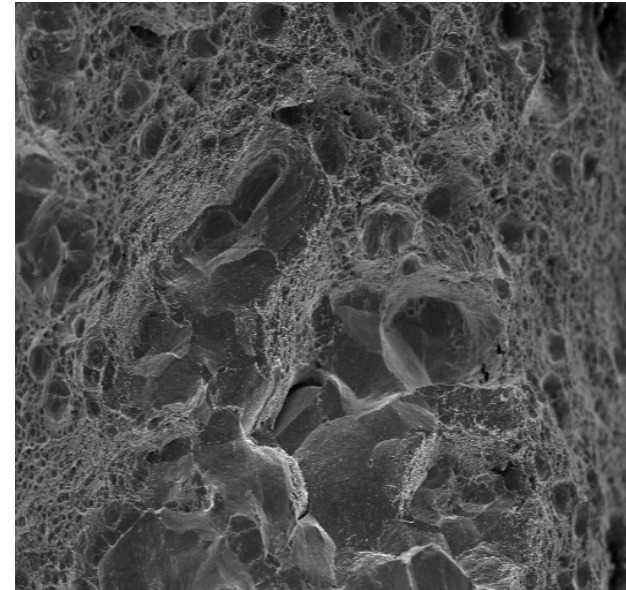
- mérnöki szerkezetek **biztonságos üzemeltetése**,
- műszakilag lehetséges **üzemidő** és annak biztosítása (élettartam gazdálkodás)
- a tudománynak és technológiának a **biztonságos üzem** és a **meghibásodás** közötti tartománnyal (*safety margin*) foglalkozó része – *ESIS definíció*

Szerkezeti integritás elemzése

- A **szilárdság** és a **töréssel szembeni ellenállás** elemzése
- Törés: repedés keletkezés + repedés terjedés
- A törést képlékeny alakváltozás előzi meg
 - minél kisebb a képlékeny alakváltozás mértéke, annál veszélyesebb a törés, mert a képlékeny alakváltozás felemésztette energiára nincs szükség
 - makroszkopikus képlékeny alakváltozás nélküli törés: **ridegtörés**



ridegtörés

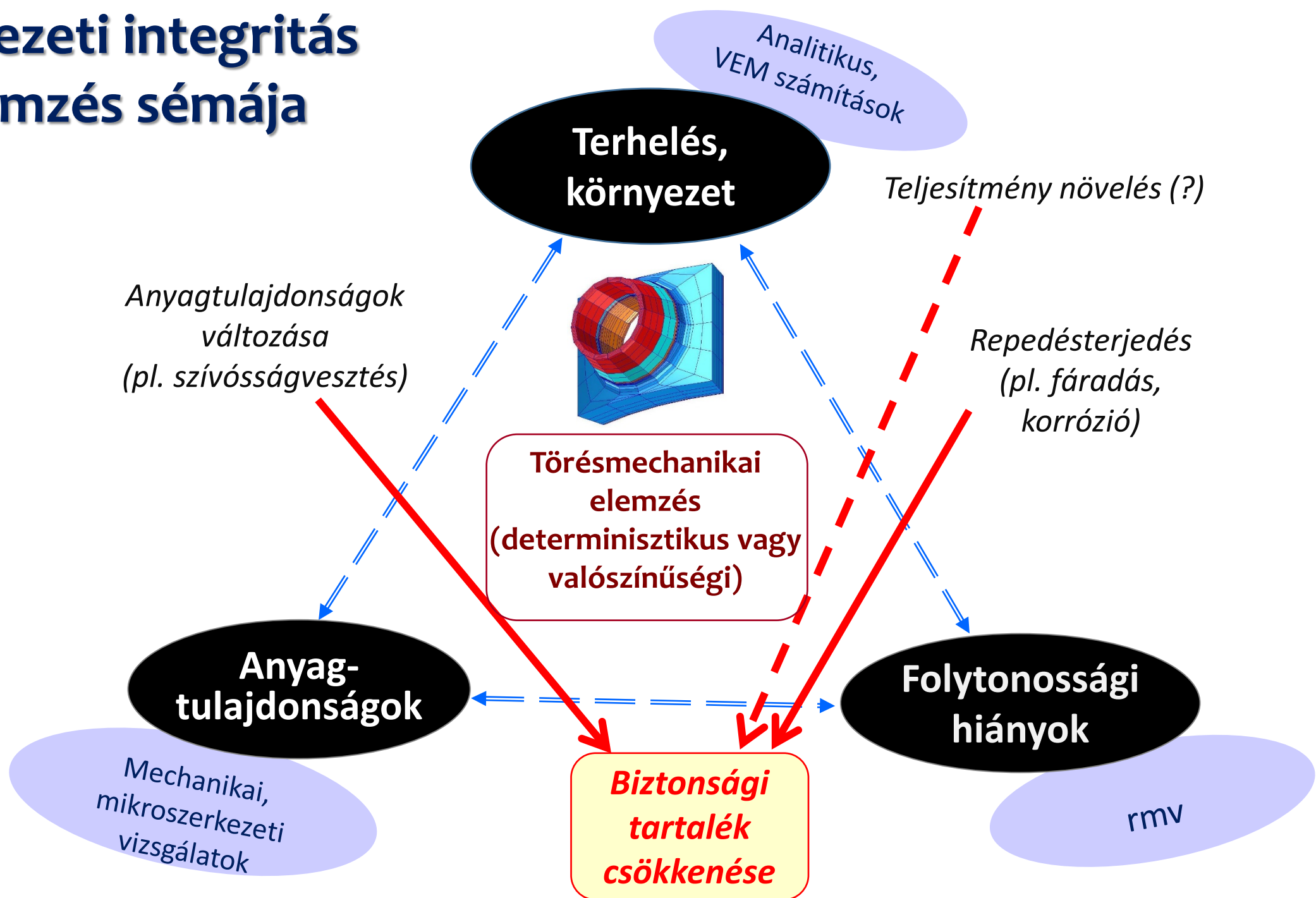


vegyes törés

Az elemzés / mérés eszközei

- Kontinuummechanika (törésmechanika)
- Numerikus számítások
- Műszaki anyagtudomány (anyagmodellek, károsodás modellek)
- Roncsolásmentes vizsgálati eljárások
- Valószínűségi elemzések (kockázat elemzések)

Szerkezeti integritás elemzés sémája



A szerkezeti integritás biztosításának nemcsak biztonsági szerepe van:

RENDELKEZÉSRE ÁLLÁS

Egyensúlyt teremt biztonság és gazdaságosság között

(túlméretezés, indokolatlan vizsgálatok, reaktortartály hőkezelés, ... elkerülése)

A debreceni kurzus előzményei

- **Szociális EU csúcs, Göteborg, 2017**
 - Európai vezetők informális megbeszélése **oktatás / képzés** témában
- **EU vízió: Európai Oktatási Tér – 2025-re**
 - Első Európai Oktatási Csúcs, Brüsszel, **2018 január**
 - Második Európai Oktatási Csúcs: Brüsszel, **2019 szeptember**

*Mindkét Csúcsot
Navracsics Tibor EU biztos
nyitotta meg és vezette*



Az események jelezték **a mérnöki kompetencia növelése iránti igényt és az igény kielégítésének a szándékát**

Roncsolásmentes vizsgálat – STEM

Roncsolásmentes vizsgálat (rmv):

- védi a társadalmat, a természetes és épített környezetet a berendezések esetleges meghibásodásaitól – **szociális** *motiváció*
- hozzájárul a berendezések / létesítmények teljesítő képességének optimalizálásához – **gazdasági** *motiváció*
- **STEM: Science, Technology, Engineering, Mathematics**
A csúcstechnológiák legfontosabb területeinek (diszciplínáinak) családja

Rmv-nek csatlakoznia kell azokhoz a szakterületekhez, amelyek megújítani kívánják oktatási / képzési programjukat → STEM

Szerkezetintegritás és roncsolásmentes vizsgáló szakmérnök

Visszatekintés

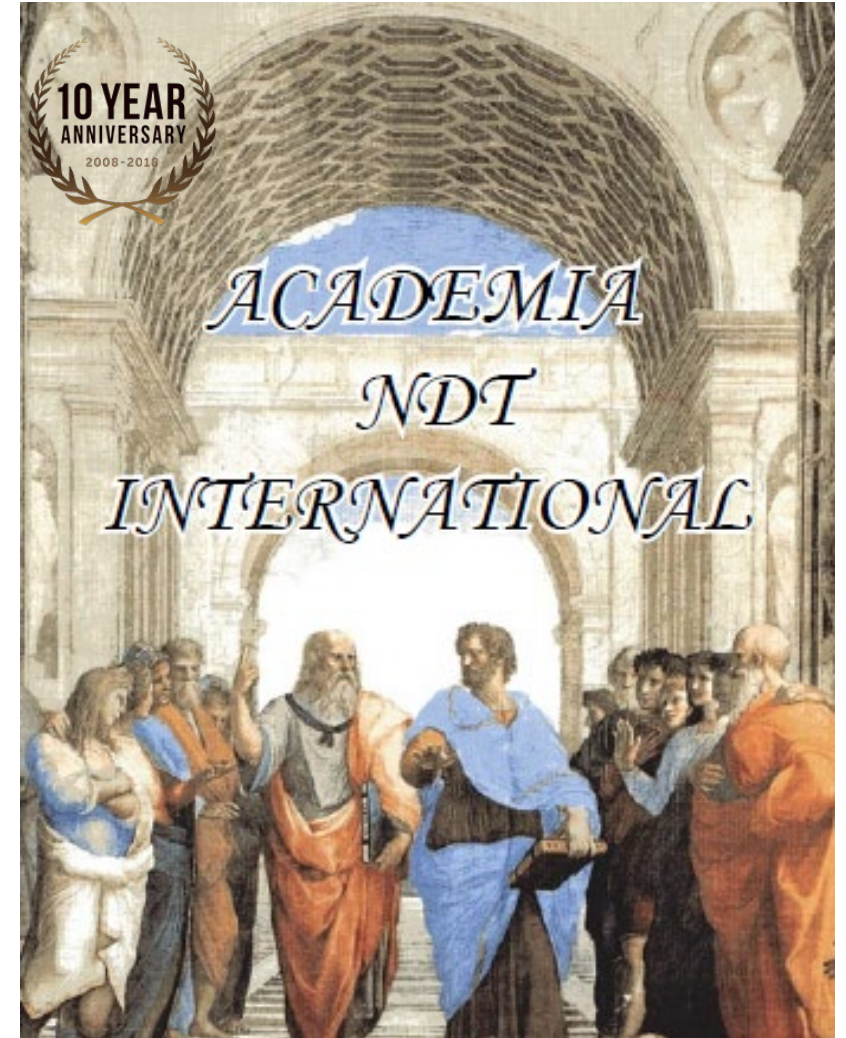
- 1967, Fall Conference of ASNT – NDT engineering profession – a „new profile” (*R.B. Socky*)
- 2016, ASNT Research Conference – NDE engineer – the „missing subject matter expert” (*J.C. Duke*)
- 2016, ISO/TS 21759 (working document) – **Non-destructive testing – Guidelines for Training, qualification and certification of NDT Engineers**
- 2018, 12th European Conference on NDT – **NDT integrity engineering** (*P. Trampus, V. Krstelj, Academia NDT International*)
- 2019, EFNDT-EWF Working Group – European NDE Engineer
- 2019, ASNT Engineering Council (NDT Engineering Committee) – NDT engineer
- 2021, ISO/DIS 9712 (Annex E, informative) – **Engineering of NDT**

Academia NDT International

Fő célkitűzései:

- a tudomány, a kutatás és fejlesztés elősegítése, az rmv területén történő alkalmazás ösztönzése az egyetemeken és kutató intézetekben, világszerte
- tudósok és technológusok közötti hálózatok létrehozása és menedzselése
- rávilágítani a kutatás és fejlesztés jelentőségére az rmv területén
- ráirányítani a hatóságok, a kormányok és a nemzetközi civil szervezetek figyelmét az rmv előnyeire és fontosságára

NDT Integrity Engineering – az Academia NDT International projektje



www.academia-ndt.org

**A debreceni képzés úttörő és egyedülálló a maga
nemében,
az Academia NDT International pilot projektje**

Szerkezetintegritási és roncsolásmentes vizsgáló szakmérnök (*NDT integrity engineer*)

Roncsolásmentes vizsgálat végzése / végeztetése és értékelése
az anyagtudomány, a törésmechanika, és más tudományok
bevonásával,
ami a szerkezetek és berendezések **integritásának** biztosítása által
garantálja azok **biztonságát**

Miért szükséges, miért hiánypótló?

Gazdasági hajtóerő

- termelékenység növelés
- öregedéskezelés

Biztonsági szempontok

- biztonsághoz való viszony globális változása

Műszaki / tudományos igény

- törésmechanika kiszolgálása

Menedzsment szempont

- rmv eredmény vs döntéshozó

Termelékenység növelés

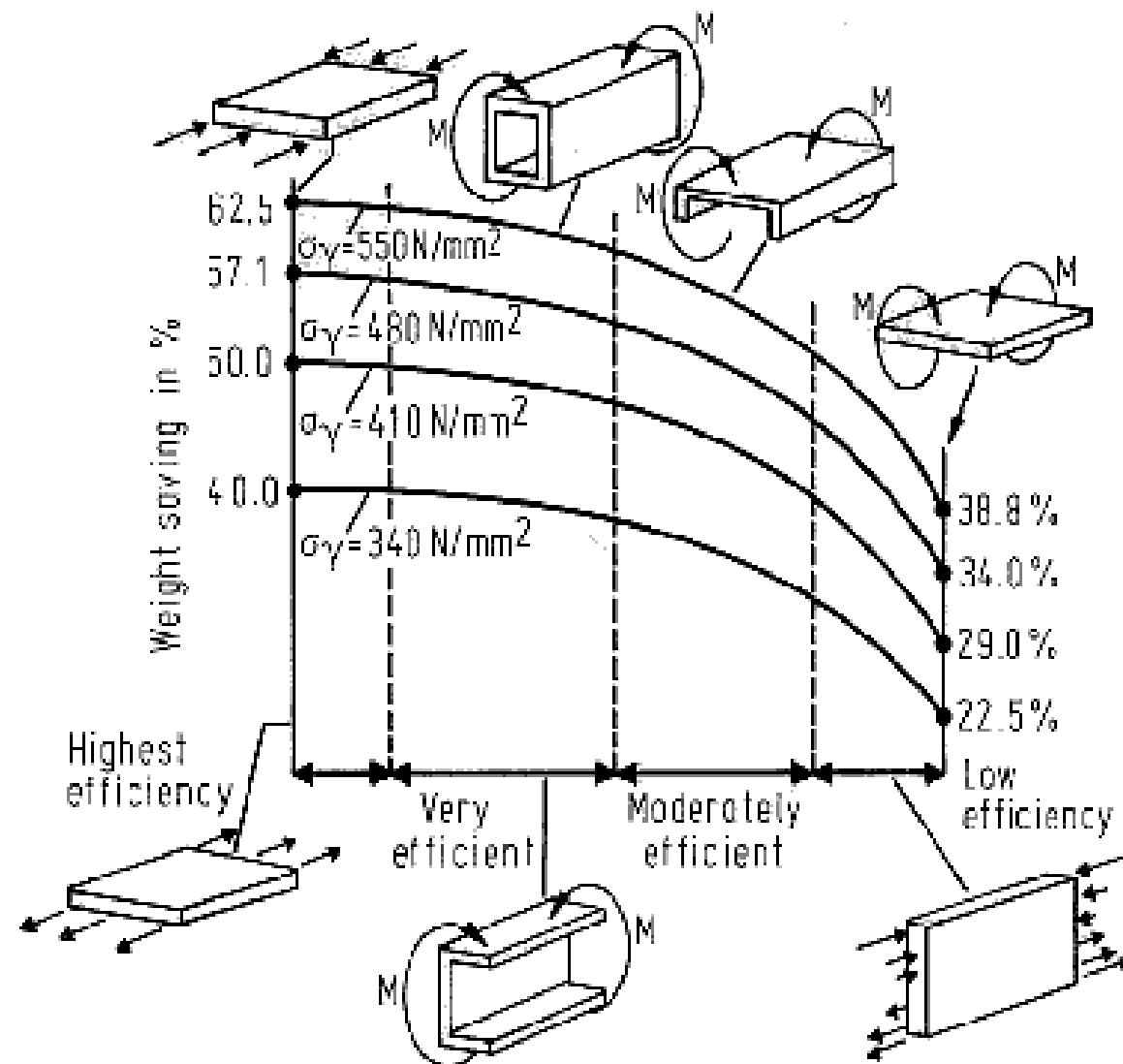
Példa: autógyártás

- HSLA acélok
- **súlycsökkentés**

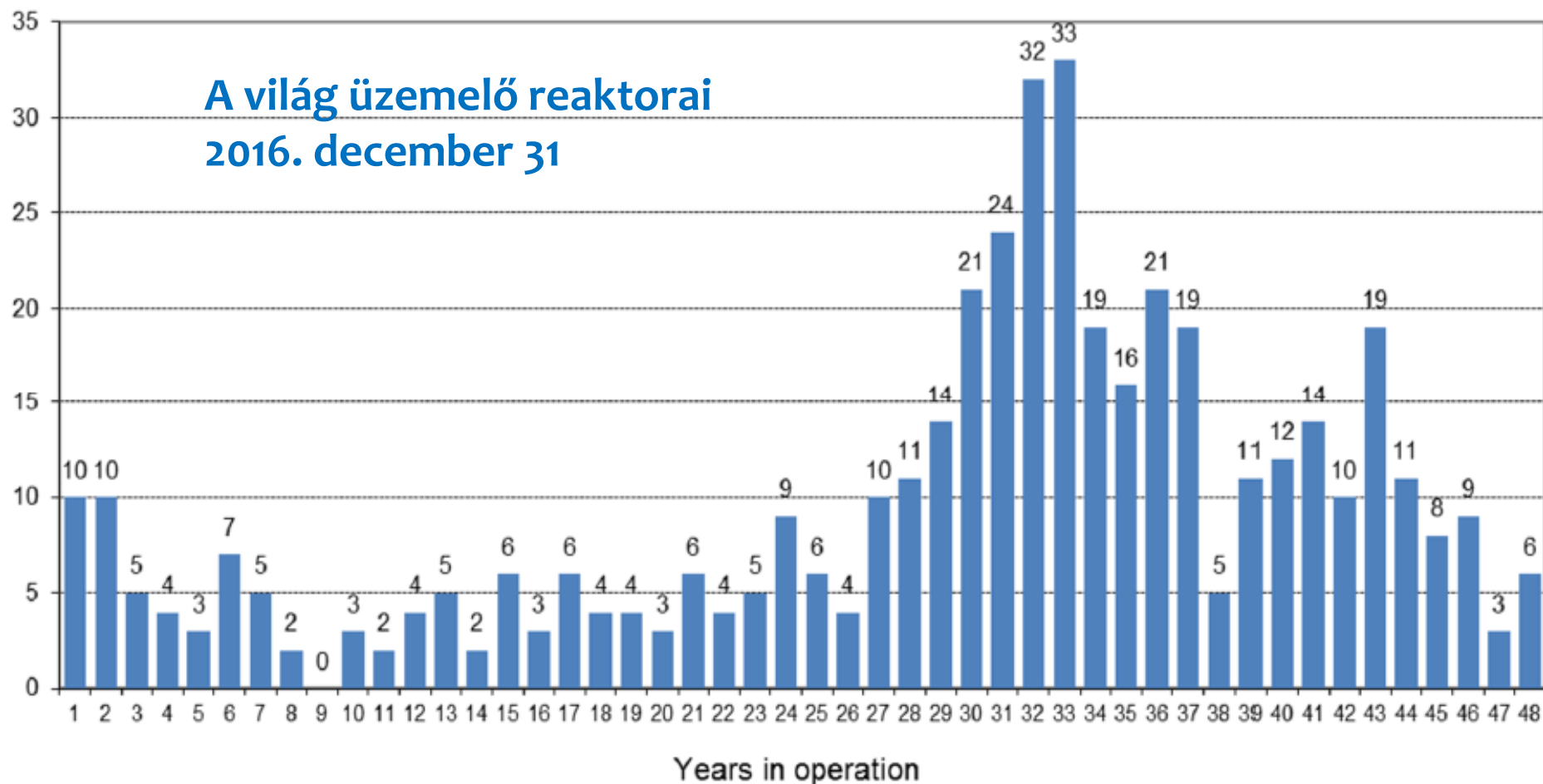
Következmények:

- megnövekedett követelmények
- új anyagok (kompozitok, kerámiák, könnyűfém ötvözetek)
- új eljárások (3D nyomtatás)

új rmv feladatokat definiálnak



Öregedéskezelés

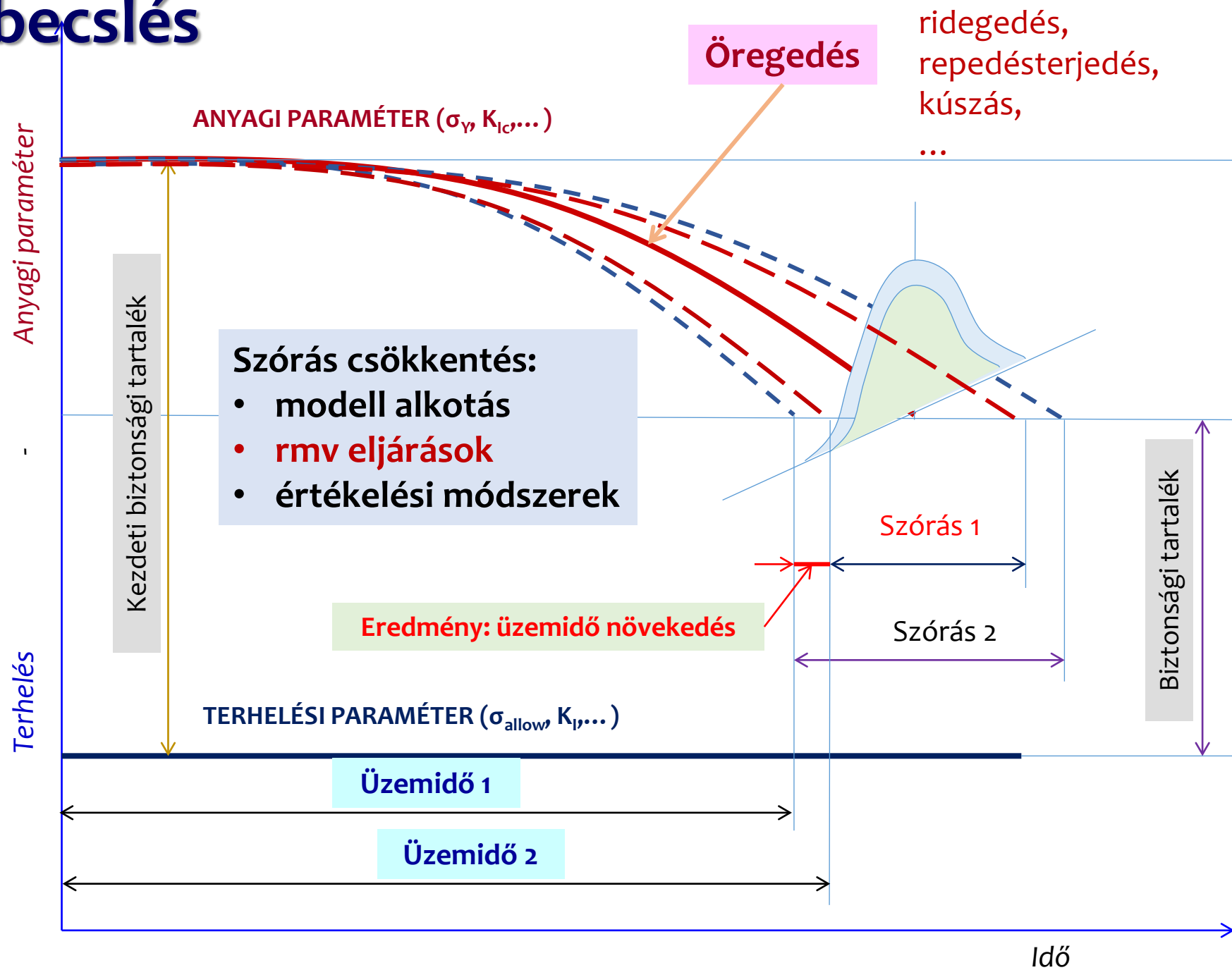


Példa: atomerőművek

- élettartam gazdálkodás / üzemidő hosszabbítás / **öregedéskezelés**

Következmény: rmv szerepe felértékelődik

Üzemidő becslés



Biztonság

- Csökken a társadalom által elviselt kockázat
- Biztonsági szabályok folyamatosan szigorodnak



Oiafúró torony, Mexikói öböl



Gázvezeték robbanás, USA

Következmények:

- **rmv a nagyobb kockázatú területekre fókuszál (ez csökkentheti az rmv terjedelmét)**

DE:

- **hagyományos eljárások / technikák már nem mindig elegendők és hatékonyak**
- **kockázat alapú ellenőrzés → új rmv követelményeket hoz be**

Törésmechanika

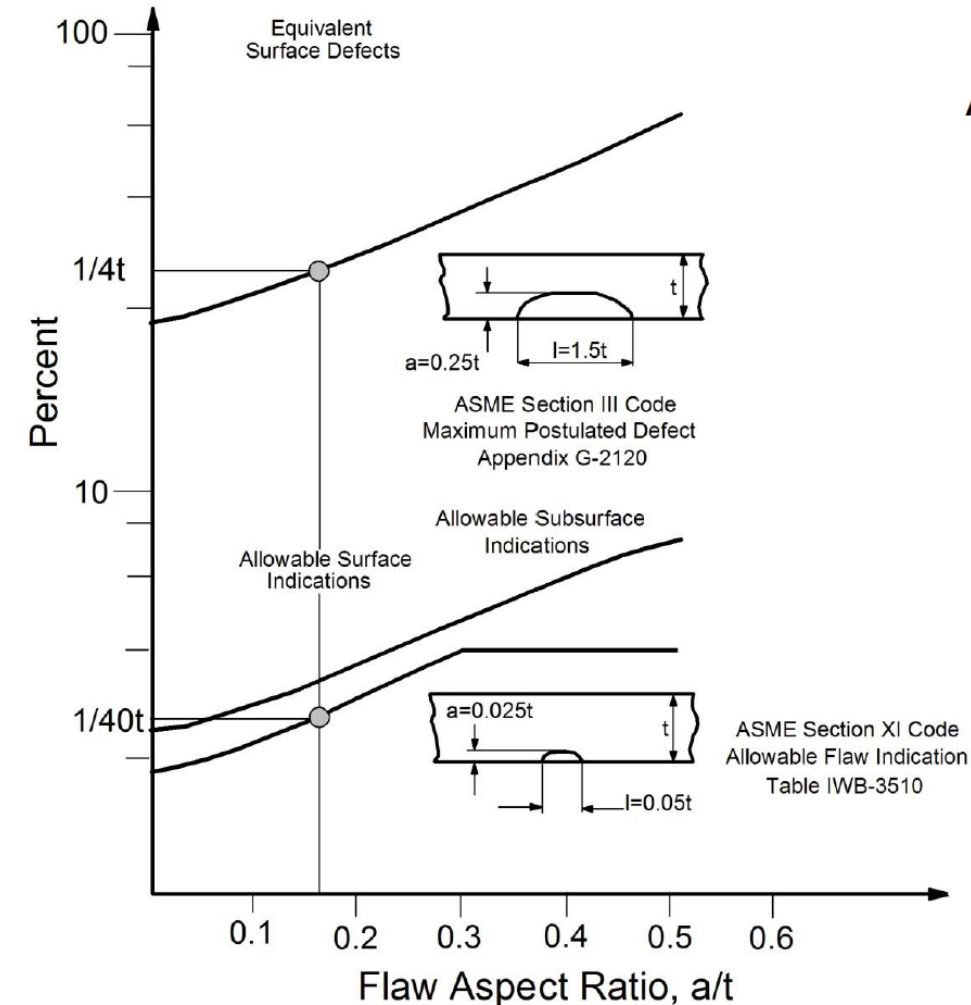
Elterjedése:

- tervezés: hibatűrő (*damage tolerance*)
- üzemeltetés: használatra való alkalmasság (*fitness for service*)

Következmény:
rmv teljesítőkéességét kvantitatív
módon kell megadni

Mit jelent ez?

- „legkisebb hiány” detektálása (**NEM FONTOS**)
- „legnagyobb méretű hiány” ismerete, amit az rmv nem detektált (**EZ A FONTOS!**)



Paradigma váltás és rmv

Szempont	Biztonságos élettartam	Hibatűrő szerkezetek
Anyagválasztás	Tapasztalat	Számszerűsített tulajdonságok (pl. repedés terjedéssel szembeni ellenállás) és tapasztalat
Terhelés, fáradás elemzés, környezeti hatások	Szerkezet tulajdonságai és tapasztalat	Számított terhek hibatűrés elemzéssel kombinálva, élettartam becslés és tapasztalat
Szerkezeti integritás elemzés	„Hibamentesség” feltételezése a gyártás és minőség ellenőrzés alapján, és tapasztalat	Számított „kritikus repedés méret” kezdeti méret és fáradás elemzés alapján
Rmv elfogadási kritérium	„Repedés nem megengedett”	Folytonossági hiány típus, méret, pozíció, orientáció, legközelebbi szomszéd
Rmv technológia	Előíró rmv technológia, amit az ipari gyakorlat validál. Új eljárások esetén: mérnöki becslés	Validált technológia (alkalmazhatóság, reprodukálhatóság, megismételhetőség, teljesítőképesség)

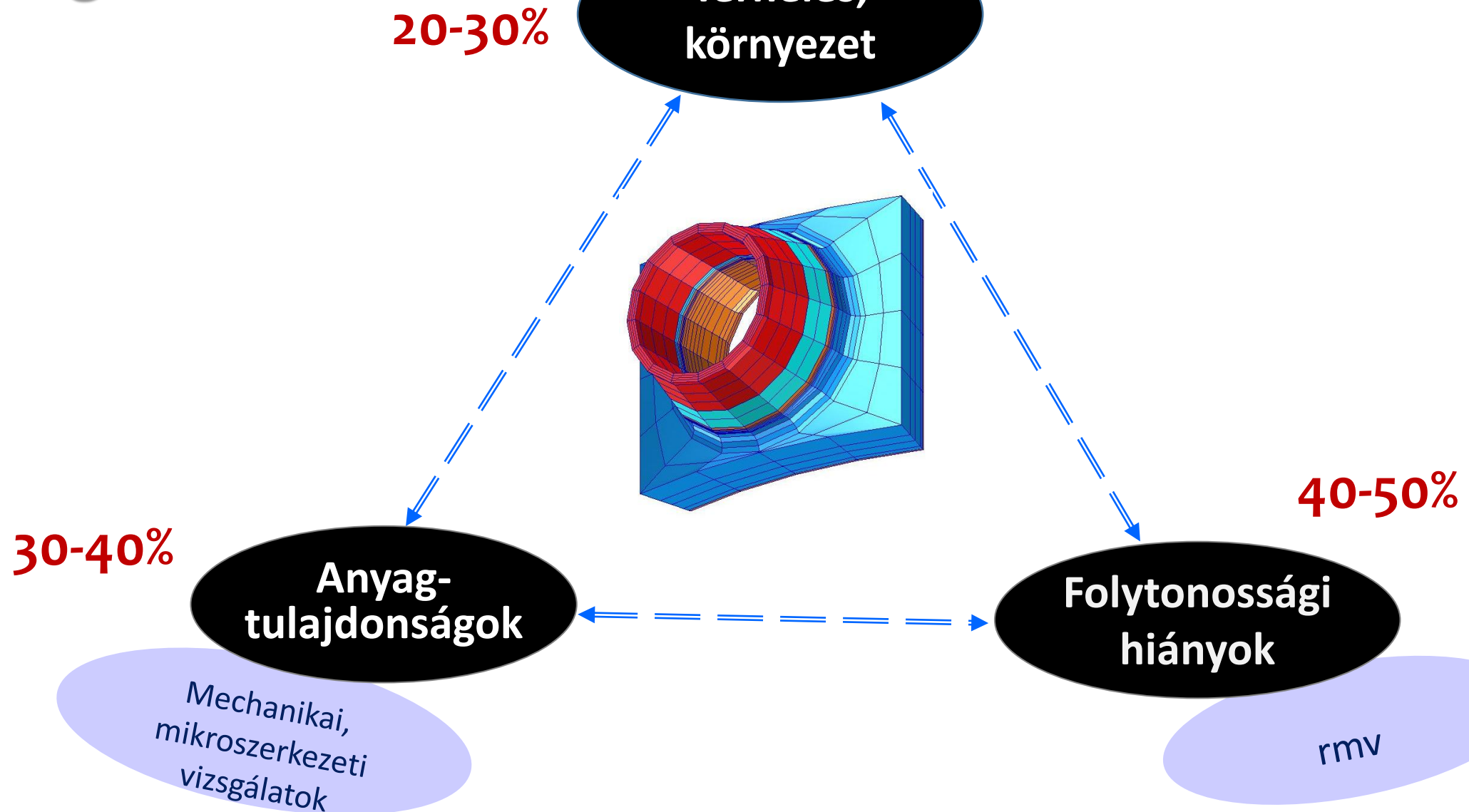
Menedzsment szempont

- Ha egy detektált hiány meghaladja az elfogadási szintet, a műszaki vagy termelési vezető a vizsgálót kérdezi az adott berendezés további üzemeltethetőségéről
- Vezetők és vizsgálók tudása eltérő alapokon nyugszik → szakadék van a döntéshozó folyamatban:
 - **vizsgálók** az eredményt szolgáltatják,
 - **vezetők** azért a döntésért felelnek, hogy egy „hibát” tartalmazó berendezés alkalmas-e az üzemelés folytatására

Szerkezetintegritás és rmv szakmérnök a megoldás a szakadék áthidalására

- Be kell integrálni az **rmv minőségi láncába**
- Speciális helyzetét az elnevezése is jelzi (**integritás és rmv**)

A kompetenciák megoszlása



A debreceni kurzus felépítése

Tantárgy csoport	Súlyozás	Tárgy
Numerikus módszerek, alkalmazott matematika	20 – 30 %	Statisztikai módszerek
		Gépi tanulás
		VEM alapok
		VEM alkalmazása a szerkezeti integritás elemzésben
Károsodási mechanizmusok, szerkezeti integritás elemzés	30 – 40 %	Üzemeltetés mérnöki módszerei
		Törésmechanika – Elvek és anyagi viselkedés
		Üzemeltetés hatása – Anyag károsodások I.
		Üzemeltetés hatása – Anyag károsodások II.
		Biztonság, megbízhatóság, kockázat
Rmv eljárások és technikák	40- 50 %	Korszerű állapot ellenőrzés
		Ipar 4.0 és rmv
		Rmv megbízhatósága
		Modellezés és szimuláció
		Rmv eljárások és alkalmazások I.
		Rmv eljárások és alkalmazások II.
		Szakdolgozat

Általános kompetencia

Értenie és beszélnie kell a teljes „rmv nyelvet”

- Rmv és rm jellemzés (*non-destructive characterization*) világos megértése
- Rmv lehetőségei és korlátjai
- Gyakorlati tapasztalat néhány járatos rmv eljárás terén

Eligazodás a biztonság, megbízhatóság, kockázat fogalmak között

Első specifikus kompetencia: rmv

- A járatos eljárások **fizikai alapja**
- Az egyes eljárások **alkalmazási területe**
- **Rmv megbízhatósága** (alkalmazhatóság, reprodukálhatóság, megismételhetőség, teljesítőképeség)
- Károsodások **korai detektálásának** ismerete
- **Structural health monitoring (SHM)** stratégiák és technikák
- Információs technológia, mikro- és nanoelektronika **fejlődésének a hatása**
- Rmv **modellezés és szimuláció** módszerei és alkalmazása
- Rmv rendszerek **minősítése**
- **Rmv globalizációja** (szabványosítás, vizsgáló személyzet minősítése és tanúsítása,...)

Második pecifikus kompetencia: anyagtudomány

- Mérnöki anyagok **gyártási folyamatának** alapja
- **Gyártási hibák** különös tekintettel a hegesztésre
- Szerkezeti anyagok **mechanikai tulajdonságai** (szilárdsági, törésmechanikai, fáradási, kúszási,...)
- Anyagok **mikroszerkezetének jellemzése**
- Az „anyag válasza” a terhelésre és a környezeti hatásokra: **károsodási folyamatok és azok hatása**
 - fáradásos repedés keletkezése és terjedése,
 - helyi korróziós folyamatok,
 - kúszás,
 - erózió,
 - kopás,
 - ridegedés / szívósság veszteség,
 - károsodási folyamatok szinergiája

Harmadik specifikus kompetencia: terhelés / környezet

- A berendezést érő **fizikai mezők**
 - mechanikai,
 - termikus,
 - mágneses,
 - elektromos,
 - elektromágneses
- A fizikai mezők kiszámításának **analitikus és numerikus módszerei**
- Üzemi **terhek**, feszültségi / alakváltozási állapot, feszültségintenzitási tényező stb.
- **A károsodási folyamatok következményei**
 - falvastagság csökkenés,
 - instabil repedésterjedés,
 - teherviselő keresztmetszet csökkenés,
 - repedésterjedéssel szembeni ellenállás csökkenés
- **Törésmechanika** alapjai

Általános mérnöki kompetencia

- A mérnöki tudás **multidiszciplináris jellegének** ismerete és alkalmazása
- Alkalmasság mérnöki problémák megoldására **analitikus, numerikus vagy kísérleti módszerekkel**
- Alkalmasság **szabványok és biztonsági előírások értelmezésére és alkalmazására**
- Gazdasági, szervezési és vezetési kérdések ismerete, mint **projekt-, kockázat- és változásmenedzsment**
- Alkalmasság **hatékony kommunikációra** a mérnöki társadalommal és a társadalom képviselőivel
- Alkalmasság **hatékony munkára nemzeti és nemzetközi környezetben**, egyedül vagy egy mérnöki team tagjaként, és együttműködési képesség mérnökökkel és nem mérnökökkel

Záróvizsga

2021. 06. 16.



Források

- P. Trampus: Ensuring safety of structures and components at nuclear power plants, ICONS 2014, Kalpakkam, India, 2014
- R.B. Socky: The NDT Engineering Profession: A New Profile, Materials Evaluation, January 1970
- J.C. Duke: The Missing Subject Matter Expert in the Planning and Design Process, Proc. ASNT Research Conf. New Orleans, 2016
- Trampus, Krstelj, Nardoni: NDT integrity engineering – A new discipline, Procedia Structural Integrity, 2019
- Rummel: Nondestructive evaluation – A critical part of structural integrity, ICONS 2014, Kalpakkam, India, 2014
- Meyendorf: Next Generation NDT, NDT for Industry 4.0, and NDE for Everyone, asnt.org/learn, 2020