Debreceni Egyetem

Műszaki Kar

Biztonság – Megbízhatóság – Kockázat

Készítette:

Tóth László, DSc

Debreceni Egyetem Műszaki Kar

2021

Lektor
Dr. Trampus Péter
professor emeritus
Dunaújvárosi Egyetem

Technikai szerkesztő
Csüllög Mihály

A tananyag elkészítését a „A Debreceni Egyetem nukleáris oktatási, kutatási és szolgáltatási portfóliójának fejlesztése” c. projekt támogatta.

©Debreceni Egyetem Műszaki Kar

ISBN 978-963-490-289-8

Tartalomjegyzék

Táblázatok jegyzéke ... 3
Ábrajegyzék ... 4
Bevezetés ... 8
1 Biztonság - Megbízhatóság – Kockázat ... 10
2 Biztonság garantálás a tervezés periódusában ... 11
2.1 Biztonsági tényezők ... 12
2.2 Biztonsági tényezők a klasszikus szilárdsági méretezésben ... 14
2.2.1 Biztonsági tényezők kvázistatikus terhelésnél ... 15
2.2.2 Biztonsági tényezők ismétlődő terhelésnél ... 18
2.3 Biztonsági tényezők a nem klasszikus szilárdsági méretezésben, ellenőrzésben ... 22
2.3.1 Törésmechanikai megfontolások ... 22
2.3.2 Biztonsági tényező az anyagok elridegedési folyamatán nyugvó megfontolások figyelembevételével ... 28
2.3.3 Rezgő, forgó rendszerek biztonsága, biztonsági tényezője ... 29
3 Megbízhatóság ... 35
3.1 Tervező – Gyártó – Üzemeltető – Szakértő: jogi viszonyok ... 35
3.2 Terheléspróba - Karbantartás – Periodikus felülvizsgálat ... 41
3.2.1 A terheléspróba folyamata, lehetséges műszaki következményei ... 41
3.3 Karbantartás - Periodikus felülvizsgálat ... 45
3.3.1 Megbízhatóság alapú karbantartási (RCM) stratégia lényeges elemei ... 46
3.3.2 Kockázat alapú felülvizsgálat (RBI – Risk Based Inspection) ... 48
4 Kockázatalapú szemlélet alapjai ... 56
4.1 Kockázat fogalma, értelemzése ... 56
4.2 Kockázat kezelésének általános elvei ... 57
4.3 A kockázatalapú szemlélet, mint a műszaki és gazdasági élet interfésze ... 62
4.4 A kockázatalapú szemlélet alkalmazási területei ... 63
5 Kockázatalapú személet műszaki alkalmazásai ... 71
5.1 A periodikus ellenőrzések során (RBI és RII) ... 71
5.2 RBI és RII alkalmazások a petrolkémiai iparban ... 73
5.3 RBI és RII alkalmazások a nukleáris iparban ... 76

5.4 RBI és RII alkalmazások az űriparban 79
6 Szabványok a kockázatalapú szemlélet bevezetéséhez 82
6.1 ISO 31000, Kockázatmenedzsment, Irányelvek 82
6.2 ISO 31010, Kockázatkezelés. Kockázatfelmérési irányelvek 85
7 Műszaki területeken alkalmazható szabványok 89
7.1 API 581A petrolkémiai ipar kockázatalapú felülvizsgálati rendszere 89
7.2 EN 16991:2018 és megjelenésük a CEN tagországaiban 95
Irodalomjegyzék 99
Melléklet „Tóth László: Biztonság – Megbízhatóság – Kockázat” c. egyetemi jegyzetének lektori jelentéséhez 103

Táblázatok jegyzéke

1. táblázat: Az egyenértékű feszültségek számítására javasolt összefüggések 16

2. táblázat: Az EU tagországok GDP felhasználásának aránya a különböző szektorokban 36

Ábrajegyzék

1. ábra: A piaci szükséglet és ezt kielégítő termék közötti lépések 11
2. ábra: A termék „funkció - alak - anyag – gyártásának” egysége 11
3. ábra: A modellek alkotásának lényege 15
4. ábra: Az ismétlődő terhelések lehetséges fajtái 18
5. ábra: Wöhler-görbék helyzete a terhelés aszimmetria tényezőjének függvényében. 19
6. ábra: Smith biztonsági diagram a kifáradás elleni tervezéshez. 20
7. ábra: A terhelés jelleginek hatása a Smith biztonsági diagramokra 21
8. ábra: Húzásra és nyomásra eltérően viselkedő anyagok Haigh biztonsági diagram 22
9. ábra: A repedéscsúcs környezetének jellemzése 23
10. ábra: A repedés csúcsától r távolságban levő P pontban ébredő feszültségek komponensei 24
11. ábra: repedés síkjának és a terhelés jellegének alapesetei. 25
12. ábra: Az általános folyási törésmechanika modellje 26
13. ábra: A J-integrál kontinuummechanikai modellje 27
14. ábra: A biztonságos vészleállás követelményei a nukleáris iparban 28
15. ábra: Egytömegű rezgőrendszer 29
16. ábra: Egytömegű rezgőrendszer sorbakapcsolt rugókkal 30
17. ábra: Egytömegű rezgőrendszer sorbakapcsolt rugókkal 30
18. ábra: Egytömegű rezgőrendszer párhuzamosan kapcsolt rugókkal 30
19. ábra: Egytömegű, sebességgel arányosan csillapított rezgőrendszer 31
20. ábra: Egytömegű, periodikus befogású (gerjesztésű) rezgőrendszer 31
21. ábra: Növekvő amplitúdójú rezgés rezonancia esetén 32
22. ábra: Kétszabadságfokú rezgőrendszer 32
23. ábra: Rugalmasan alátámasztott tengely rezgése és igénybevételeinek számítása 33
24. ábra: Tengelyre illesztett tárcsa együttes rezgése 33
25. ábra: Három, közös tengelyen levő torziós tárcsa rezgése 33
26. ábra: A GDP felhasználásának arányai az EU tagállamaiban 36
27. ábra: Törések sajátosságai 37
28. ábra: Az ismétlő terhelés hatására bekövetkezett törések sajátosságai 38
29. ábra: A törések kiinduló helyeinek statisztikái 39

30. ábra: Meghibásodások gyakorisága különböző mérnöki szerkezeti elemekben 39

31. ábra: Törési okok jellegzetes statisztikái 40

32. ábra: A terheléspróba hatása a repedésszerű hiba környezetében 42

33. ábra: Túlterhelés hatása a repedés csúcsában ébredő viszonyok alakulására 44

34. ábra: A szerkezeti elemek megbízhatósága, integritása 48

35. ábra: Szerkezetek üzemeltetése során előfordulható károsodási folyamatok. 49

36. ábra: Az üzemelő rendszerek lehetséges „hibái” 49

37. ábra: Az üzemelő rendszerekben kialakuló „mezők” 50

38. ábra: A fizikai valóságot visszatükrözni akaró modell + a használt numerikus eljárás szerepe a „mezők” értékeinek számításánál 50

39. ábra: Az üzemelő rendszerek biztonságának alapsémája, a vállalati „profit-centrum” struktúrája 51

40. ábra: A „biztonság háza” 51

41. ábra: A „biztonság házának alapstruktúrája 52

42. ábra: Az ellenőrzés stratégai kérdései 52

43. ábra: Egy 30.000 m3-es atmoszférikus tartály 53

44. ábra: A felülvizsgálat során kapott eredmények kiértékelési lehetőségei 53

45. ábra: Az „üzemeltetési tapasztalatok” helye, szerepe a „biztonság házában” 54

46. ábra: A periodikus felülvizsgálat történeti egymásutánisága 54

47. ábra: A kockázatalapú szemlélet lényege 56

48. ábra: A kockázatalapú gondolkodás elemei: azonosítás, következmény felmérése 57

49. ábra: A kockázatalapú gondolkodás elemei: kockázat kezelése 57

50. ábra: A kockázatalapú gondolkodás elemei: a Pareto - elv a kockázatkezelésben 58

51. ábra: A kockázatalapú gondolkodás elemei: a „kockázati mátrix” 59

52. ábra: A kockázatalapú gondolkodás elemei: a „kockázati mátrix” 5 x5 -ös elemekkel..... 60

53. ábra: A kockázatalapú gondolkodás elemei: a „kockázat kezelés” 60

54. ábra: A kockázatalapú gondolkodás elemei: a „rendszer kockázati mátrixának felépítése az elemek kockázata alapján” 61

55. ábra: A biztonság szükséges szintjének és költségeinek egyensúlya 62

56. ábra: A kockázatalapú gondolkodás elemei: közgazdasági és műszaki szerep a kívánt biztonság megteremtésében 63

57. ábra: A gyakran használt INTERNET-es keresőmotorok logói 65

58. ábra: A kockázatalapú szemlélet iparági alkalmazásainak találati számai 2007-ben 65

59. ábra: A különböző iparágakhoz kötött tudományos közlemények száma, amelyek a kockázatalapú szemlélet alkalmazásával kapcsolatos 66

60. ábra: A pénzmosás figyelemfelhívó logója 67

61. ábra: A kockázatalapú szemlélet helye a minőségbiztosítási rendszerben..... 68

62. ábra: A „Risk based approach” találati számai a 2000-2020 intervallumban 70

63. ábra: A nyomástartó rendszerek műszaki biztonsági szabályzata (NYEBSZ)..... 71

64. ábra: Olajfinomító üzem részlete 72

65. ábra: Változó idejű felülvizsgálati periódusok kijelölhetősége az elfogadható kockázat alapján. 72

66. ábra: A „risk-based-inspection”+”petrochemical industry” kereső szavakra kapott találatok száma 2000 -2019 közötti periódusban 75

67. ábra: A „risk-based inspection”+”petrochemical industry” kereső szavakra „Google-Shcolar” használatával kapott találatok száma 2000 -2019 közötti periódusban..... 76

68. ábra: Néhány IAEA dokumentum. 77

69. ábra: Az RBI és RI-ISI GOOGLE találatok alakulása 2000 – 2020 között 78

70. ábra: Az RBI és RI-ISI GOOGLE-Scholar találatok alakulása 2000 – 2020 között 78

71. ábra: A nukleáris blokkok életkorának megoszlása 79

72. ábra: A „risk-based approach to aerospace industry” kereső kifejezésre kapott találatok száma a GOOGLE két adatbázisában 80

73. ábra: A kockázatalapú szemlélet keretmodellje, az egyes lépések és ezek kapcsolata 83

74. ábra: A kockázatmenedzselés folyamata. 84

75. ábra: „ISO 31000” keresőszóra kapott találatok száma 2010 -2020 intervallumban GOOGLE és a Bing keresőmotorral. 85

76. ábra: A GOOGLE adatbázisában az „ISO 31010” keresőszóra kapott találatok száma 87

77. ábra: A Google Scholar és a Science Direct adatbázisában az „ISO 31010” keresőszóra kapott találatok száma 88

78. ábra: A minőségi kockázatelemzés alapgondolatai az API 581-ben..... 90

79. ábra: A következményelemzés folyamatának lépései 93

80. ábra: Az API szabványok strukturális és rendeltetési kapcsolatrendszere..... 94

81. ábra: GOOGLE találati számai a 2000 – 2020 intervallumban az „API 581” keresőszó estén..... 95

82. ábra: A RIMAP projekt struktúrája 96

83. ábra: A RIMAP (sárga) ás a RIMAP-NAS (piros) hálózatok összekapcsolása az MPA Stuttgart és „BAYLOGI” szerződéseivel 96

84. ábra: A kockázatmenedzselés általános sémája. 98

Bevezetés

Az ember egy természetes adottsága a **biztonságra** való törekvés. Igaz egyesek és időnként meghágják ezt a velünk született adottságot. Gondoljunk csak arra, hogy az élet minden területét alapvetően a biztonság áll a középpontban és nem a bizonytalanság, a kaotikus rendetlenség, a veszélyeztetettség. Az viszont nem tagadható, hogy vannak **veszélyek** szinte minden egyes helyzetben. Ekkor ösztönösen **felmérjük** azokat a bekövetkezés **valószínűségével** együtt, majd ezt követően **cselekszünk**. Legyen ennek egyik szemléletes példája az, a mikor nem a kijelölt helyen megyünk át az úttesten! Az első gondolat az, hogy átkeljek-e vagy nem! Ha a döntésem az, hogy IGEN, akkor elindítottam egy folyamatot, amelynek vannak lépései, azaz **definiáltam egy célt**. Jelen esetben az átjutást a túlsó oldalra. Ahhoz, hogy ezt sikeresen megvalósítsam, **lépéseket** kell megtennem. Ezek mindegyikét veszélyeztetheti valamilyen külső, vagy belső körülmény (pl. közelgő gépkocsik, úthibák, csúszós szakaszok, fájó térdem stb. - stb.). Mit is teszünk ekkor? Ösztönösen mérlegeljük a kitűzött cél elérhetőségét. Szétnézünk és tapasztalataink szerint mérlegeljük elindulásunk esteleges következményeit. E folyamatban is ösztönösen cselekszünk, azaz előbb balra nézünk – mert ha gépkocsi közeledik, akkor ez van hozzánk közelebb, majd jobbra tekintünk – mert ha abból az irányból közeleg a jármű, az még távolabb van és van időnk az esetleges következmények mérlegelésére. Az átkelés folyamatában az esetleges **sikertelenség kockázatát** viszont **kezeljük** is pl. azzal, hogy ha jármű közeleg, akkor a lépéseinket felgyorsítjuk, vagy futásnak eredünk. Ez utóbbi lehetőséget, már a cél kitűzésénél, azaz a nem kijelölt helyen történő átkelés lehetőségének mérlegelésénél is figyelembe fogjuk venni.

Mindaz, amit eddig olvashatott a Tisztelt Olvasó, csupán egy hétköznapi rutin. Hasonló példák sokasága fogalmazható meg életünk mindennapi cselekedeteiből. Ezek mindegyikének közös elemei a következők:

- kitűzünk egy célt,
- definiáljuk a rendszert, amelyben a cél elérésének folyamatát végre kívánjuk hajtani,
- felmérjük azon lépéseket, amelyeket meg kell tennünk a cél eléréséig,
- mérlegeljük azokat a lehetséges veszélyeket, amelyek az egyes lépéseket sikertelenné tehetik,
- mérlegeljük a sikertelen lépések bekövetkezésének valószínűségét és lehetséges következményeit, majd
- döntünk arról, hogy hozzákezdünk-e a pillanatnyi (az adott feltételrendszer mellett) megvalósításhoz vagy nem.

Az „úttesten való átkelés” példájához visszatérve egyben be is iktattunk **kockázatkezelési** módokat is, hiszen mérlegeltünk olyan lehetőséget is, hogy tudunk-e sietni, futni, avagy sima-e az úttest van gidres-gödrös,….

Joggal merül fel az a kérdés, hogy a röviden bemutatott – és könnyen megérthető – gondolatsor átvihető-e a **mérnöki gyakorlatba**? Ha igen, akkor hogyan, milyen módon és mely területekre? A válasz egyszerű, és egyértelműen IGEN. E válasz az *„emberi társadalmak működtetésének alapjaiból”* direkt következik. A „direkt” sajátosság azt fejezi ki, hogy minden emberi

társadalom működtetésére **megtermelt új értékre** van szükség függetlenül annak formájától, pl. ősközösségi, avagy bármilyen más berendezkedésű is legyen az. Első lépés az új érték létrehozása és csak ezt követheti annak elosztása a társadalom működtetésére. A műszaki- és természettudományok gyakorlati hasznosítása pedig legeklatánsabb megjelenítői az új értékek előállításának. Mivel napjainkban a pénz az, amely sok-sok egyéb funkciója mellett az értéktermelést is reprezentálja, így leegyszerűsítve, a példával illusztrált gondolati séma a gazdasági életben a „pénz" gondolatkörével megjeleníthető. A gazdasági életben mindig és mindenkor a „pénz" szerepét kell mérlegelni.

Ismereteim szerint hazánkban e jegyzet az első olyan szakmai anyag, amely először tárgyalja szerves egységben a „biztonság – megbízhatóság - kockázat" témaköreit.

1 Biztonság - Megbízhatóság – Kockázat

A műszaki, gazdasági élet alapeleme a „pénz”, azaz a szükséges befektetés és az elérhető piaci ár. A kettő különbségének fedeznie kell mindazon járulékos költségeket, amelyek a termék előállításával, értékesítésével járnak, az adókat stb.- stb. és természetesen profitot is biztosítani kell a tulajdonosi kör számára. A mérnöki gondolkodásmódot e folyamatban a

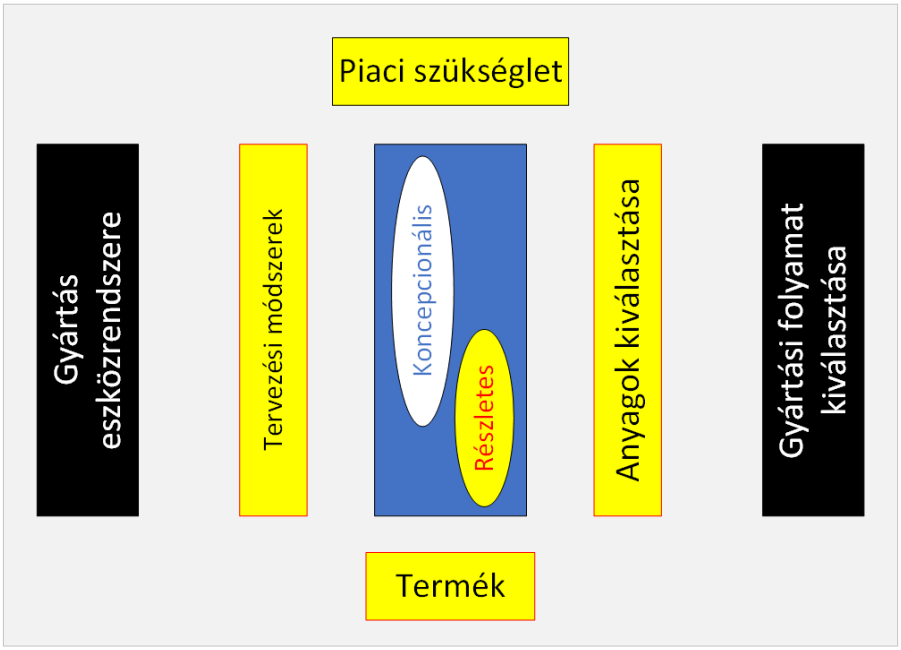
- biztonság
- megbízhatóság
- kockázat

kifejezések jellemzik.

A mérnöki gondolkodásmód alapja ugyanis a **biztonságra** való törekvés mind a tervezés, gyártás és üzemeltetés, működtetés folyamatában. Ha ugyanis bármilyen funkció ellátására tervezünk valamit, akkor azt biztonsággal kell teljesítenie. Ugyanezt várjuk el a gyártás és üzemeltetés során is. Ha viszont a biztonság mértékegységére gondolunk, akkor kissé bajban vagyunk. Mit is tudunk mondani? ***Biztonság*** *alatt azt érthetjük, hogy a „termék” milyen* ***valószínűséggel*** *tudhatja teljesítenie azt a célt, amire létrehozták! Ilyen szempontból, a biztonság mértékegysége, dimenziója %!* Ahhoz, hogy megmondhassuk, hogy ez a % mennyi is (90%, 95% avagy 99,99 %, …), befektetésre van szükség! Számításokat, méréseket, ellenőrzéseket kell végezni. Ezeknek pedig megvannak a költségkihatásai is! A ***megbízhatóság*** megállapítására tehát pénzre, befektetésre van szükség, azaz mértékegysége ***pénz***! Ezzel állítom szembe a ***kockázatot*** akkor, ha azt úgy definiálom, hogy *a kívánt cél nemteljesítésének valószínűségét szorzom a pénzben kifejezett következményével.* Így mértékegysége ugyancsak a ***pénz***. Így tehát a műszaki gyakorlatban egyértelműen érvényesíthető, és tudatosítható a ***gazdasági környezetet*** reprezentáló *„pénz – profit - költségek”* és a **műszaki élet** törekvéseit kifejező *„biztonság”* szerves, elválaszthatatlan egysége! **Ezt kell a mérnöki gondolkodásmód alapvető követelményének tekinteni** és feltételinek érvényesülését garantálni kell a tervezés, gyártás és üzemeltetés periódusában.

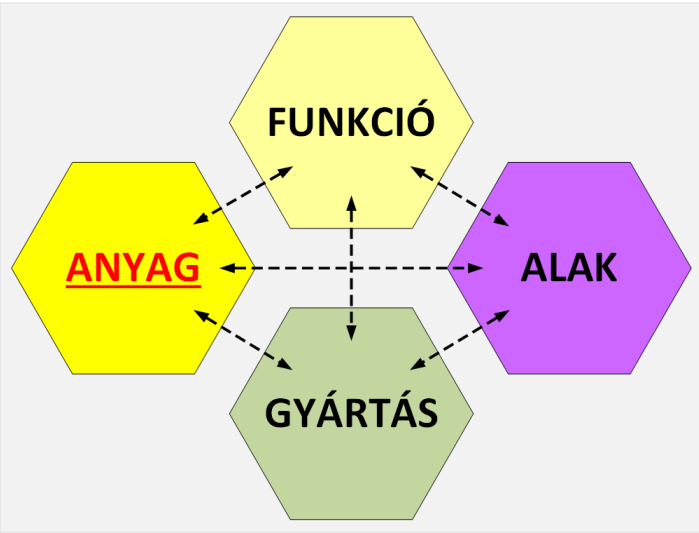
2 Biztonság garantálás a tervezés periódusában

Bármit is terveznünk egy konkrét piaci igényt kívánunk kielégíteni. Azaz valamilyen feladatot ellátó termék megalkotását tűzzük ki célul. Mérnöki szemmel tehát az a cél, hogy a termék az adott feladatot biztonsággal teljesítse. Mivel egy adott gazdasági környezetben készül a termék, így már a tervezés fázisában különböző változataikban kell gondolkodni. Ennek keretét a „a gyártás eszközrendszere – a gyártási és a kettő közötti a **TERVEZÉSI** folyamat" adja. Ezt szemlélteti az 1. ábra.



1. ábra: A piaci szükséglet és ezt kielégítő termék közötti lépések

A termék tervezésének fázisában sem engedhetjük szabadjára gondolatainkat. Kötöttségeket, időnként béklyókat a termék ***„funkciójának - alakjának – anyagának és gyártástechnológiájának"*** egysége adja. Ezt érzékelteti a 2. ábra.



2. ábra: A termék „funkció - alak - anyag – gyártásának" egysége

A 2. ábra egyben illusztrálja azt is, hogy milyen sok gazdasági szempont mérlegelhető, érvényesíthető egy-egy piaci igény kielégítése kapcsán. A „piaci igény kielégítésének” kiélezett-versenyében az 1. és 2. ábrán érzékeltetett lehetőségek nüánsznyi kihasználása juttathatja – időszakosan – versenyelőnybe az egyes gyártókat.

Visszatérve az 1. ábrára, a ***tervezésre***, teljesen mindegy milyen *„Tervezési módszereket”* választunk, ezek mindegyikében megjelenik a műszaki szempontból meghatározó követelmény, a ***biztonság garantálása***. A tervezési módszerek mindegyikének általános jellemzője, hogy szerepel bennük valamilyen ***„biztonsági tényező”***. Azonnal felmerül az alapvető kérdés: ***mit is nevezhetünk biztonsági tényezőnek??*** A kérdés jogos és egyben összetett is. Érdemes e fogalom értelmezés kapcsán egy kicsit elgondolkodni. A „Magyar Értelmező Kéziszótár” a 136. oldalán nem ad egyértelmű választ e fogalomra. Az INTERNET-es keresés a *„biztonsági tényező”* kapcsán több mint 2 millió találattal örvendeztet meg. Ezek zöme valamilyen szilárdsági méretezéshez kötődik. Kicsit általánosabban fogalmazva a következőkből kell kiindulni a biztonság, biztonsági tényező kapcsán.

Minden terméket valamilyen működési körülmény, környezet (terhelés, alakváltozás, hőmérséklet, kopás, rezgés, stb.) zavarmentes elviselésére tervezünk. Ennek kapcsán kijelöljük a tervezés szempontjából meghatározó működési feltételrendszert és az ahhoz tartozó paramétereket. Jelöljük ezt $p_{zm}=f(p_1, p_2, p_3\ldots)$ függvénnyel. A tényleges üzemeltetés során viszont bekövetkezhet olyan állapot, amikor a termék már nem töltheti be tervezett rendeltetését, funkcióját. Ezen állapotot előidéző paramétereket nevezhetjük kritikus paramétereknek. Jelöljük ezt $p_{krit}=f(p_{1krit}, p_{2krit}, p_{3krit}\ldots)$.

A **biztonsági tényező** fogalma alatt tehát értelemszerűen a

$$b = p_{krit}/p_{zm} \tag{1}$$

kifejezést értjük. Ez pedig általában egy többváltozós függvénykapcsolat – amely a kritikus paraméterek elkerülését, azaz a biztonságot hivatott jellemezni -, nem pedig egy *konkrét számmal jellemezett tényező.* Az (1) kifejezéssel egy olyan felületet jellemeztünk a $\mathbf{p_i}$ dimenziójú térben, amely a biztonságos üzemeltetés feltételeit hivatott kijelölni p_{krit}/p_{zm} biztonsági tényezőjű koordináta-tengelyű metszékekkel. Abban az esetben, ha csupán egyetlen paraméterrel jellemezhető a kritikus állapot, akkor egyetlen kritikus paraméter definiálható. Ekkor a biztonság nagysága valóban kifejezhető a biztonság tényezővel, egy puszta számmal.

2.1 Biztonsági tényezők

A mérnöki szerkezetek biztonságos üzemeltethetősége kapcsán különböző kritériumokat lehet megfogalmazni. Ezek igen sokrétű követelmények lehetnek még akár a gépészmérnöki gyakorlatban is. Mindig valamilyen ***„kritikus állapotot”*** kell kiküszöbölni. Ilyenek lehetnek például:

- üzemeltetés során a képlékeny alakváltozás elkerülése,
- a szerkezet törésének elkerülése abban az esetben,
  - ha repedés nem megengedett, vagy
  - ha adott hosszúságú repedés megengedett

- üzemeltetés során a képlékeny alakváltozás nagysága ne haladjon meg egy felső korlátot,
- soha ne következzen be kifáradásos törés ismétlődő terhelés esetén,
- ne következzen be kifáradásos törés adott igénybevételi számig,
- a Bernoulli - egyenletből adódóan ne következzen be folyadékáramlás, amely kavitációs anyagkárosodást okozhat,
- rezgő rendszereknél ne következzen be rezonancia,
- az anyag égése ne vezessen robbanáshoz,
- stb.

A tervezés célja minden esetben a mérnöki rendszerek kritikus állapotainak elkerülése valamilyen biztonsággal. Ez mindig és mindenkor az alapvető cél.

Gond *„csupán”* akkor van, amikor egyidejűleg több kritérium egyidejű kielégítésére törekszünk. Ennek egyik – és talán legszemléletesebb példája a hőerőművek gőzvezetéke lehet. A hosszú üzemidőt (30-40 év) figyelembe véve már eleve nem lehetséges a beépítésre kerülő anyagok méretezés szempontjából meghatározó tulajdonságait (pl. a kúszási tulajdonságokat) kísérletileg meghatározni. Ilyenkor két lehetőségünk van. Az egyik a sok-sok kísérleti eredményei alapján a szabványokban rögzített jellemzőket veszik figyelembe a szilárdsági számításoknál. E koncepció általában túlméretezésre vezethet, hiszen a tényleges kúszási anyagjellemzők igen nagy valószínűséggel jobbak (nagyobbak), mint ahogyan azzal a szilárdsági tervezés során a számításokat végezték. A másik lehetőség az, hogy a tervezés, méretezés során valamilyen módszerrel figyelembe vesszük az erőművek leállása és újraindítása során fellépő kisciklusú (csekély képlékeny alakváltozással járó) kifáradást is. Ha a szerkezeti elemeket úgy méretezzük, hogy a kisciklusú fáradást nem engedjük meg, akkor igen nagy méretűek lesznek, ami mind műszaki, mind gazdasági szempontból megengedhetetlen. Ebben az esetben tehát olyan anyagjellemző(k)re van szükség, amely(ek) egyidejűleg figyelembe veszi(k) az kúszás + kisciklusú fáradás okozta lehetséges károsodásokat. A tervezett biztonságos üzemidő számításánál mind a kúszás, mind pedig a kisciklusú fáradás szempontjából a felhasználandó biztonsági tényezőkre nézve korlátokat szabnak meg az előírások, pl. biztonsági tényező a szilárdsági számításokra, ill. a megengedhető leállások-újraindítások számára. Mivel mind a kúszás, mind pedig a kisciklusú fáradás kismértékű képlékeny alakváltozással jár, a biztonsági tartalékok ellenőrzése a halmozódó képlékeny alakváltozás mérésére koncentrálódik. Ezt egészíti ki az anyagszerkezet változásához kötődő metallográfiai ellenőrzés (replikavizsgálat).

A tervezett üzemidő végéhez közeledve minden nagyértékű mérnöki szerkezetnél jogosan merül fel az a kérdés, hogy „üzemeltethető-e tovább, vagy nem”. A lehetőségek elemzése kapcsán eszközként kell tekintenünk a következőket:

- a tervezésnél figyelembe vett és a ténylegesen beépített anyagok tulajdonságainak különbségét, ami lényeges eleme lehet az ún. „üzemidő - hosszabbításnak”.
- a tudományos ismeretek fejlődésének eredményeképpen rendelkezésre álló ismerethalmazok különbségét, ami a reális biztonság jobb megismerésének alapja lehet,

- a roncsolásmentes ellenőrzési módszerek (NDE – Non-Destructive Evaluation) új tárházát, amelyet kombinálva az előző pontban említettekkel, az adott elem tényleges biztosága lényegesen jobban megítélhető.

Miért is próbáltam az előbbi példát felhozni – merül fel jogosan a kérdés! Azért (is), hogy ***egyrészt*** érzékeltessem a mérnöki szerkezetek tervezésének nem egyszerű voltát, ***másrészt*** a tervezett üzemidőt meghaladó üzemeltetés lehetőségét. Ezzel újból visszatértünk a „pénzcentrikus" mérnöki gondolkodásmódhoz, ennek lényegi elemeihez, a „biztonság-megbízhatóság-kockázat" egységéhez.

A továbbiakban csupán néhány – tetszőlegesen kiválasztott - gépészmérnöki területen alkalmazott tervezési eljárás „biztonsági tényezőjének" lényegére szeretnék rámutatni. Ezek a következők:

A. Szilárdsági méretezés (repedésszerű hiba nem megengedett)
   (a) egytengelyű igénybevétel esetén
   (b) többtengelyű terhelésnél (síkbeli vagy térbeli terhelésnél)
B. Szilárdsági méretezés (repedésszerű hiba megengedett)
   (a) biztonsági tényező megengedhető terhelésre
   (b) biztonsági tényező megengedhető repedéshosszra
C. Biztonsági tényező anyagok károsodására és repedéshosszra (a nukleáris ipar példája)
D. Rezgő (és lengő) rendszerek biztonsága
E. Egyéb jellegzetes területek

2.2 Biztonsági tényezők a klasszikus szilárdsági méretezésben

Az egyik alaplehetőség – a klasszikusnak is tekinthető – az, ha a tervezendő szerkezet geometriai kialakítása során repedésszerű anyagfolytonossági hiányokkal nem számolunk, azokat nem engedjük meg. Ebben az esteben a ***gyártásellenőrzés során, az üzemeltetés kiválasztott periódusaiban elvégzett roncsolásmentes vizsgálatokkal igazolni kell, hogy repedésszerű hibát a szerkezet nem tartalmaz!***

A szerkezet biztonságát ebben a szemléletben egy célszerűen megválasztott biztonsági tényező garantálja. Ennek alapja, valamilyen – a felhasznált anyaghoz kötődő, a szerkezet terhelési körülményeihez igazodó mérőszám lehet. Ezek a következők:

- Kvázistatikus terhelésnél:
  - Az anyag folyási határa
  - Az anyag szakítószilárdsága
  - Az anyag kúszási jellemzőinek valamelyike (tartamszilárdság, különböző alakváltozásokhoz tartozó kúszáshatár, stb.).
- Ismétlődő terhelésnél
  - Kifáradási határ
  - Tartamszilárdság: adott élettartamhoz kötődő feszültség.

2.2.1 Biztonsági tényezők kvázistatikus terhelésnél

A tervezés fázisában figyelembe vehető anyagjellemzőket általában egytengelyű igénybevétellel szabványokban rögzített feltételekkel határozzuk meg. Az így mért jellemzők azonban nem azonosak a tényleges, és eltérő szerkezetekben mutatott viselkedéssel, hiszen azokban nem egytengelyű feszültségállapotok ébrednek. Ha egy **valódi anyagtulajdonságot** szeretnénk meghatározni, akkor mit is kell tennünk tulajdonképpen:

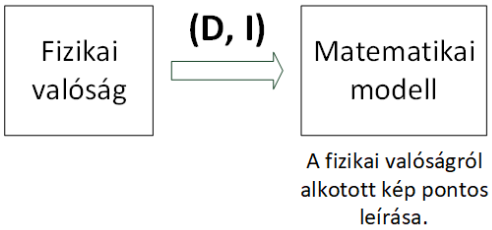
- Ki kell munkálni egy próbatestet. Ekkor választ kell adni egyben arra is, hogy a mérési eredmény tartalmazza-e vagy nem a próbatest (mérete, kialakítása) által okozott ***geometriai hatást***?
- Erre a próbatestre teljesen önkényesen ráteszem a ***külső hatásokat***,
  - a **terhelést** a maga történetével együtt (terhelési mód, sebesség, történet)
  - a **közeget**, amelyben vizsgálom az anyag jellemzőjét, és
  - a **hőmérsékletet**.
- A **valódi** (vagy a geometriai hatást is figyelembe vevő) **anyagtulajdonság** – amit mérek - nem más, mint az anyag, a legegyszerűbb **önszervezendő rendszer válasza**.

Így egyszerűen érthető, hogy ha az anyagtulajdonságot meghatározó próbatestben, valamint a szerkezeteben nem azonos „mezők alakulnak ki a terhelés hatására”, akkor a tényleges biztonsági tényező problematikus. A tényleges biztonság, biztonsági tényező definiálására két alapvető lehetőség adódóik a tervező számára:

- A legkézenfekvőbb az, ha a beépített szerkezeti anyag méretezés szempontjából meghatározó tulajdonságát (tulajdonságait) a szerkezetben ébredő feszültségállapottal azonos körülmények között vizsgálja.
- Olyan modelleket használ, amelyek lehetővé teszik a szerkezet tényleges feszültségállapotának visszavezetését egytengelyűre és ezt hasonlítja össze az anyag ilyen feltételek között kísérletileg mért anyagjellemzőjével.

A mérnöki gyakorlatban az első lehetőség kizárt, hiszen egy-egy anyagból a legkülönbözőbb feszültségállapotú szerkezetet célszerű tervezni.

Éppen ezért marad a második lehetőség, amikor a beépített anyag várható viselkedését (is) figyelembe vevő valamilyen feltételezés alapján egyenértékű feszültséggel jellemezhető a szerkezetben ténylegesen kialakuló feszültségmező. Természetesen többféle ***modell*** fogalmazható meg. A modellek alapvető lényege az, hogy a rendelkezésre álló adatok (**D**) információk (**I**) próbálják leírni a valóságot, mint ahogyan ezt a 3. ábra is szemlélteti [2].



3. ábra: A modellek alkotásának lényege

A szilárd testek kontinuummechanikája is (matematikai) modelleket alkot, azokat használja. Ebből adódóan ugyanazon fizikai valóság leírására számos eltérő alakú, formájú modell alkotható. Ennek oka az is lehet, hogy a kiinduló gondolatsorokban van eltérés. Az egyenértékű feszültségek (σ_{egy}) számítására is számos modellt alkottak. Ezek összefoglalását tartalmazza az 1. táblázat. Az itt felsorolt összefüggésekre pillantva látható, hogy a mechanikai modellek megalkotásánál figyelemebe vették mind a homogén (minden pontban azonos) és izotróp (minden irányba azonos) tulajdonságokkal rendelkező, mind anizotróp (iránytól függő tulajdonságú), mind pedig a húzásra és nyomásra nagyon eltérően viselkedő (pl. öntöttvasak) anyagokat.

$$\sigma_{egy} = \sigma_1 - v\sigma_3$$	(2)
$$\sigma_{egy} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$$	(3)
$$\sigma_{egy} = \frac{1-v}{2}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) + \\ + \frac{1}{2}\sqrt{(1-v)^2(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 + 2v[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$$	(4)
$$\sigma_{egy} = \frac{1-v}{2}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \\ + \frac{1+v}{2}\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$$	(5)
$$\sigma_{egy} = -\frac{\sigma_{Hny} - \sigma_{Hh}}{2} + \\ + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{Hny} - \sigma_{Hh}}{2}\right)^2 + \frac{\sigma_{Hh}\sigma_{Hny}}{6\tau_H^2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} + \\ + \sqrt{\left(1 - \frac{\sigma_{Hh}\sigma_{Hny}}{3\tau_H^2}\right)(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 + \left(\sigma_{Hny} - \sigma_{Hh}\right)(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}$$	(6)
$$\sigma_{egy} = \sigma_1$$	(7)
$$\sigma_{egy} = \sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3)$$	(8)
$$\sigma_{egy} = \sigma_1 - \sigma_3$$	(9)
$$\sigma_{egy} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)}$$	(10)

1. táblázat: Az egyenértékű feszültségek számítására javasolt összefüggések [3]

Megjegyzések:

- σ_{egy} – a különböző modellek felhasználásával számítható egyenértékű feszültség,
- σ_1, σ_2, és σ_3 a főfeszültségek (σ,- a legnagyobb és σ1- a legkisebb) azaz azokban a síkokban, amelyekben csak a síkra merőleges feszültség ébred,
- σ_{Hny} – a határfeszültség értéke nyomásra (pl. nyomó igénybevételhez tartozó folyási határ vagy nyomószilárdság),
- σ_{Hh} – a határfeszültség értéke húzásra (pl. folyási határ vagy szakítószilárdság),
- τ_H – a határfeszültség értéke csavarásra,
- $\nu=(\sigma_{Hh}/\sigma_{Hny})$ – a határfeszültségek aránya húzásra és nyomásra,
- μ - Poisson szám, értéke acélokra 0,24-0,33; öntöttvasakra 0,23-0,28; réz és ötvözeteire 0,32-0,42; stb.

Természetes igény az adott feladatra választott modellek valóságtartalmának kísérleti ellenőrzése. Erre nézve számos hasznosítható kiindulást, elgondolást, útmutatást adhat a hivatkozott munka [3].

A szerkezet tervezésénél használt biztonsági tényezőt - mint konkrét számértéket – úgy veszszük figyelembe, mint az egytengelyű anyagvizsgálattal mért anyagjellemző és az adott modellel számított egyenértékű feszültség (σ_{egy}) hányadosa.

A mérnöki szerkezetek egy számottevő részének üzemi hőmérséklete jelentősen eltérhet a normál, ún. környezeti hőmérséklettől. Ebben az esteben két alapvető veszélyt, az alacsony hőmérsékleteken bekövetkező **ridegtörést** és a növelt hőmérsékleteken **kúszással** bekövetkező törést kell a tervezőnek kiküszöbölnie. A ridegtörés elkerülésének két gyakorlata alakult ki a szerkezetek tervezése során.

- Az adott üzemi körülményekhez olyan anyagot választunk, amely garantáltan nem lesz rideg állapotban, nem fog elridegedni. Az ilyen <u>*acélkiválasztási rendszerek*</u> alapja az anyagok elridegedési hajlamát jellemző *átmeneti hőmérséklet* és a ridegtöréssel bekövetkezett káresetek adathalmaza. Ekkor roncsolásmentes vizsgálattal igazolandó, hogy *repedésszerű hibát* a szerkezet, szerkezeti elem *nem tartalmaz*.
- A szerkezetben, szerkezeti elemeben roncsolásmentes vizsgálattal üzembiztosan kimutatható méretű repedésszerű hiba megengedett, de ez nem terjedőképes az adott üzemeltetési körülmények között még a legkonzervatívabb modell figyelembevételével sem. Ez az ún. törésmechanikai szemlélet, amelyre még visszatérünk.

Növelt hőmérsékleten ($T_{üzemi} \geq 0{,}5\ T_{olvadási}$) történő üzemeltetés során a folyási határnál kisebb feszültség hatására is bekövetkezhet nagyon lassú képlékeny alakváltozás, az un. kúszás jelensége. Az ilyen szerkezetek tervezésénél felhasználható anyagjellemzők:

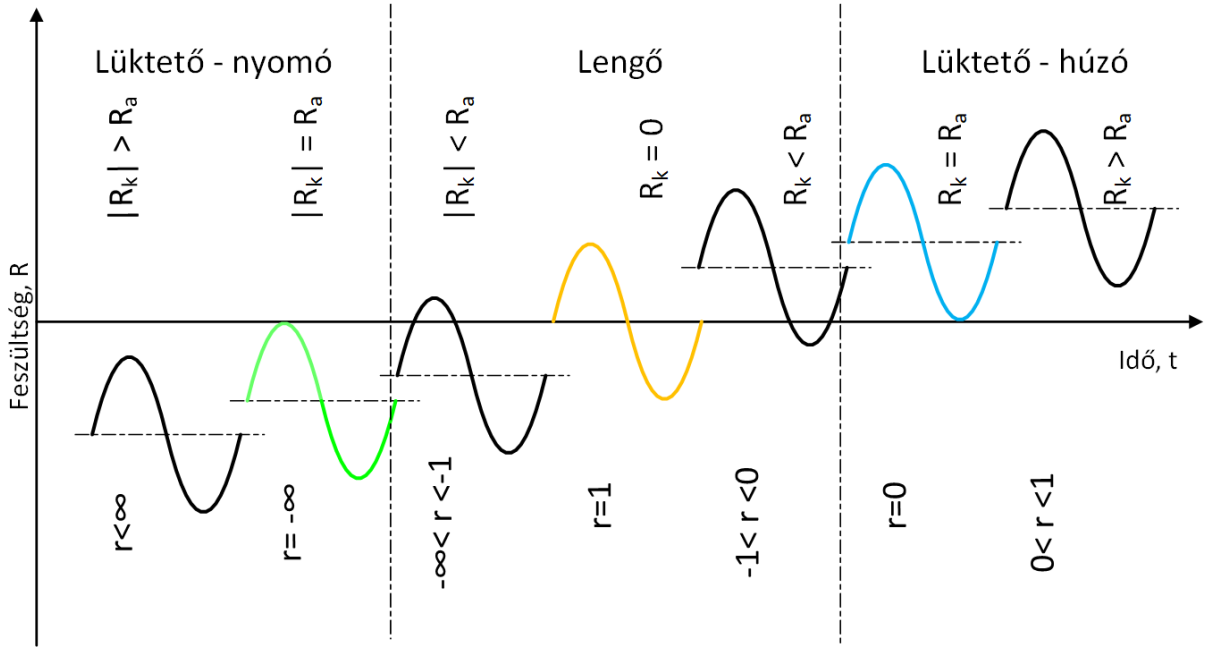
- <u>*Kúszási szilárdság:*</u> az a feszültség, amely az adott hőmérsékleten adott idő ***alalatt törést okoz,*** pl $R_{m/100.000/550}$, azaz az adott feszültséggel 100.000 órát 550 ^{0}C-on terhelve a törés bekövetkezik.
- <u>*Kúszáshatár:*</u> az a feszültség, amely az adott hőmérsékleten adott idő alatt meghatározott mértékű ***képlékeny alakváltozást*** idéz elő, pl. $R_{p0,2/100.000/550}$, azaz az adott fe-

szültséggel 100.000 órát 550 ^{0}C-on terhelve az anyagban ε=0,2 % lesz a maradó alakváltozás.

Az ilyen körülmények között üzemelő szerkezetek szilárdsági tervezésének alapsémája az, hogy a szerkezet legkritikusabb pontjában ébredő egyenértékű feszültség kisebb legyen, mint a fenti anyagjellemzők kiválasztottja és a biztonsági tényező hányadosa. Az erőművek indításainak, leállásainak megengedhető számát is korlátozzák, mivel az ilyen fázisokban kismértékű képlékeny alakváltozás a hőfeszültségek miatt megengedett. Azaz normál üzemi állapotban a kúszás, míg indítás és leállás esetén a kisciklusú fáradás okozza/okozhatja a beépített anyagok károsodását.

2.2.2 Biztonsági tényezők ismétlődő terhelésnél

Még bonyolultabb a helyzet az ***ismétlődő terhelés*** esetén. Az ok kézenfekvő, hiszen a ***terhelés nagysága két paraméterrel jellemezhető***. Következésképpen az anyagtulajdonság, az „önszerveződő rendszer válasza" is két paraméter függvénye, mint ahogy a lehetséges ismétlődő terhelés 4. ábrán látható széles skáláját jellemzi.



4. ábra: Az ismétlődő terhelések lehetséges fajtái

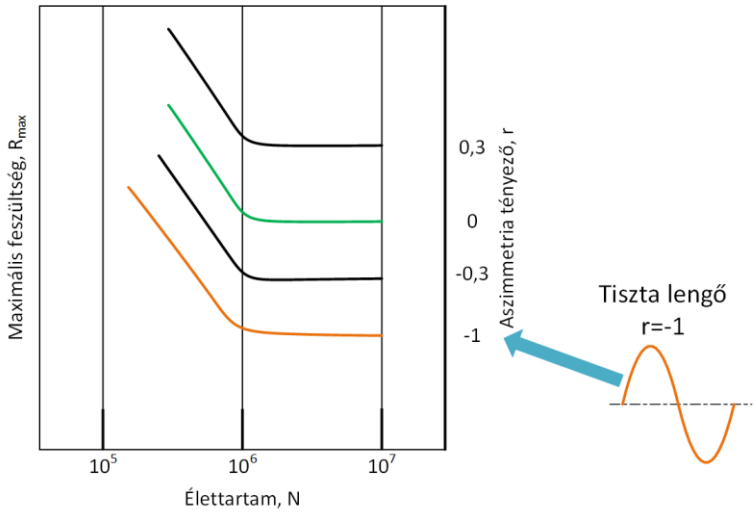
A fenti ábrán a **r** jelöli a terhelés aszimmetria tényezőjét, amely definíció szerűen a terhelés minimuma/maximuma egy terhelési cikluson belül, azaz

$$r=\sigma_{min}/\sigma_{max} \text{ vagy } r=R_{min}/R_{max} \qquad (11)$$

A terhelés nagysága és a 4. ábrán jelzett helyzete az alábbi 5 lehetséges paraméter közül kettő tetszőleges kiválasztásával egyértelműen definiálható: **r, R_{min}, R_{max}, R_a, $R_{k(közép)}$**. Ezt szemléltetik például a következő összefüggések is, amelyekben a kiválasztott 2 paraméter az aszimmetriatényező (**r**) és a terhelés amplitúdója (R_a):

$$R_{\max} = \frac{2R_a}{1-r}; \qquad R_{\min} = \frac{r}{1-r}2R_a, \qquad R_k = \frac{1+r}{1-r}R_a. \tag{12}$$

Ha a kiválasztott két terhelési paraméter a maximális terhelés (**R_{max}**) és az aszimmetriatényező (**r**), akkor az anyag, mint önszervezendő rendszer Wöhler görbéi (lgN – R_{max}) az 5. ábrán bemutatott tendenciát követik.



5. ábra: Wöhler-görbék helyzete a terhelés aszimmetria tényezőjének függvényében.

A szerkezetek, szerkezeti elemek biztonságának tervezésénél alapvetően két lehetőséggel lehet számolni. Az egyik a Wöhler-görbe vízszintes szakasza (ami csak a *térben középpontos kocka és a hexagonális kristályrácsú fémeknél* tapasztalható), a kifáradási határ. Jelölje ezt **σ_{kif}**. A másik lehetőség pedig az, amikor élettartamra végezzük a méretezést. Ekkor az adott, a szerkezet/szerkezeti elem legveszélyesebb pontjában ébredő egyenértékű feszültség (σ_{egy}) és az adott aszimmetria tényezőjű terheléshez tartozó Wöhler görbe kijelöli a töréshez tartozó ciklusszámot. Ebben az esteben biztonsági tényezők ($n_é$ és n_σ) definiálhatók az

- élettartamra, azaz $n_é=N_t/N_{meg}$, ahol N_t a töréshez tartozó élettartam, N_{meg} a megengedett élettartam, és a
- megengedhető maximális feszültségre, azaz $n_\sigma=\sigma_{egyt}/\sigma_{egymeg}$, ahol σ_{egyt} egy tervezett szerkezeti elemben egy adott élettartamhoz kiválasztott olyan maximális egyenértékű feszültség, amely töréshez vezet, míg a σ_{egymeg} a megengedett maximális feszültség.

E szemléletben az $n_é$ és n_σ biztonsági tényezők kapcsolatát a Wöhler görbe meredeksége adja. Az előző gondolatsor érvényes bármilyen aszimmetria tényezőjű terhelésre (Wöhler görbére), de számszerűen eltérő eredményekre jutunk már akkor is, ha csupán a terhelés jellege, az r változik.

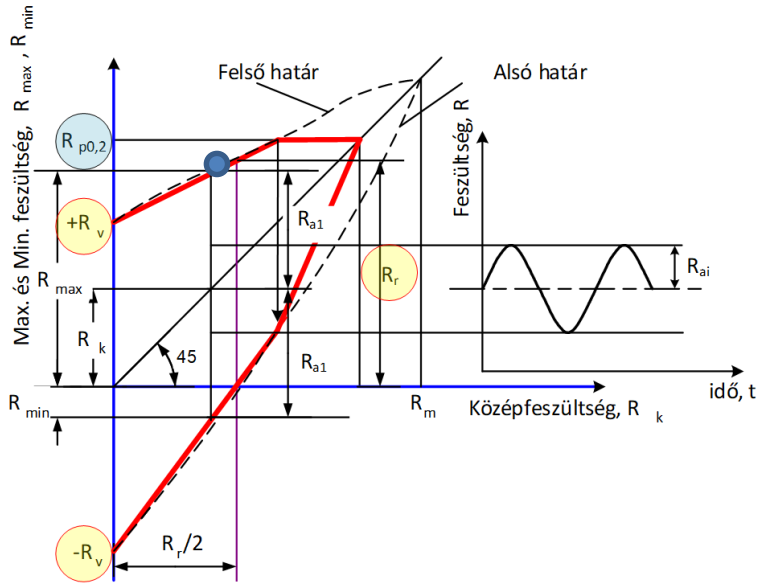
A *lapközepes kocka rácsú fémeknél* nem tapasztalható a Wöhler görbén kifáradási határ, vízszintes szakasz. Így csupán elvileg is $n_é$ és n_σ biztonsági tényezők definiálhatók. Ezek a 10^7-10^9 igénybevételi szám tartományban viszont nagyon bizonytalanná válnak. A gigaciklus tartományban pedig szinte használhatatlan megfontolásnak tekinthetők, egyrészt a kifáradás fo-

lyamatának változása, másrészt a nagyszámú, általánosítható törvényszerűségek megállapítására alkalmas kísérleti eredmények hiánya miatt.

Noha a kifáradás jelenségének tanulmányozása már az 1840-es években megindult és e témakörrel kapcsolatos közlemények száma állandóan növekszik (jelenleg minimálisan napi 15-20 cikk jelenik meg a világon), még nagyon messze vagyunk attól, hogy azt mondhassuk *„a kifáradásos törések megszűntek, a tudomány megteremtette ennek alapját”*.

Az ilyen jellegű törés elkerülésére a műszaki gyakorlatban legjobban kidolgozott módszereknek az un. biztonsági diagramok alkalmazása tekinthető. Lényege; a kifáradási határra méretezünk, azaz keressük azt a megengedhető feszültséget, amellyel terhelve – elvileg – végtelen számú igénybevételt kibír az adott szerkezeti elem. Mindjárt adódik az első gond abból, hogy milyen a terhelés nagysága, ami 2 paraméterrel jellemezhető (lásd az 5. ábrát). Az pedig elképzelhetetlen, hogy minden felhasznált anyagra, minden lehetséges terhelési lehetőségre kísérletileg meghatározzák a Wöhler-görbéket. Anyagilag ez felvállalhatatlan, de a meglevő eredmények folyamatos gyűjtése megvalósult. Korábban kézikönyvekben, napjainkban pedig adatbázisokban.

E gyűjtés eredményeként a XX. század első felében megjelentek az un. ***biztonsági diagramok.*** Az acélok körben leginkább elterjedt az un. Smith diagram (6. ábra)



6. ábra: Smith biztonsági diagram a kifáradás elleni tervezéshez.

A diagram függőleges tengelyén a terhelés maximális és minimális, míg a vízszintes tengelyen a középfeszültség értéke van. Az ábrán piros színnel jelezett biztonsági terület elvileg mindazon kifáradási határok összessége, amelyet a bemetszést, feszültséggyűjtő helyeket nem tartalmazó szerkezet kifáradás veszélye nélkül elvisel. Megszerkesztéséhez a következő vizsgálatok elvégzésére van szükség:

- 1 db szakítóvizsgálat, az adott anyag folyási határának ($R_{p0,2}$) meghatározására (ill a szakítószilárdság is adódik e vizsgálatból, amely a legfelső szaggatott vonalak találkozási helyét jelöli ki),

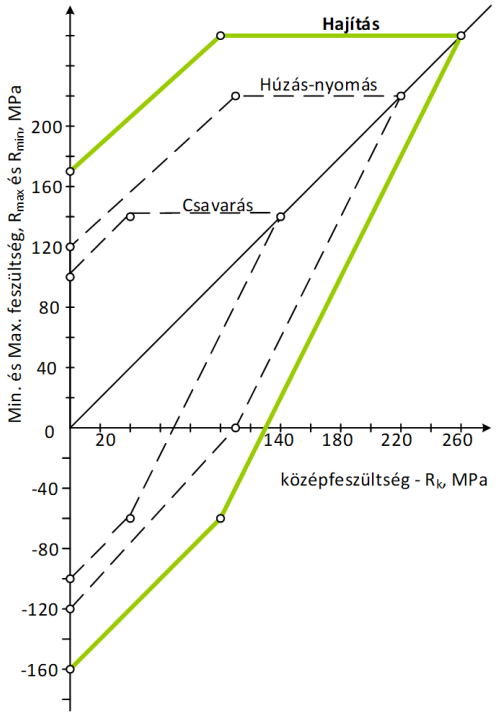
- 2 fárasztóvizsgálat sorozatokra a különböző jellegzetes terheléshez tartozó kifáradási határok meghatározására,
  - zérus középterhelésű lengő igénybevételhez tartozó kifáradási határ a R_v, és
  - lüktető húzó igénybevételhez tartozó kifáradási hatát az R_r.

Ezen adatok ismeretében a biztonsági diagramok egyszerűen szerkeszthetők a következő lépésekben:

a. Koordináta tengely kijelölése,
b. R_v értékének kijelölése a függőleges tengelyen
c. $R_r/2$ értékének kijelölése a vízszintes tengelyen (kék pont)
d. az itt húzott függőleges vonalra az R_r értékének felmérése
e. R_v „kék pont összekötése
f. a diagram felső részének „levágása” az $R_{p0,2}$-vel
g. a metszéspont levetítése a diagram alsó ágára.

Egy szerkezeti elem adott *<u>középértékű</u>* és *<u>amplitúdójú</u>* terhelésénél (lásd az ábra jobboldali részét) a diagram alapján könnyen eldönthető, hogy kifáradással számolni kell-e vagy sem. Ha a *középterhelést* (középfeszültséget) *állandónak* tekintjük, akkor a terhelés amplitúdójára adhatunk meg korlátokat (ameddig a terhelés amplitúdója el nem éri a piros színnel jelölt határgörbét) és biztonsági tényezőt. Amennyiben a terhelés amplitúdója nem változik, úgy a középterhelés változtathatóságára nézve szabhatunk korlátokat, ill. definiálhatunk biztonsági tényezőket.

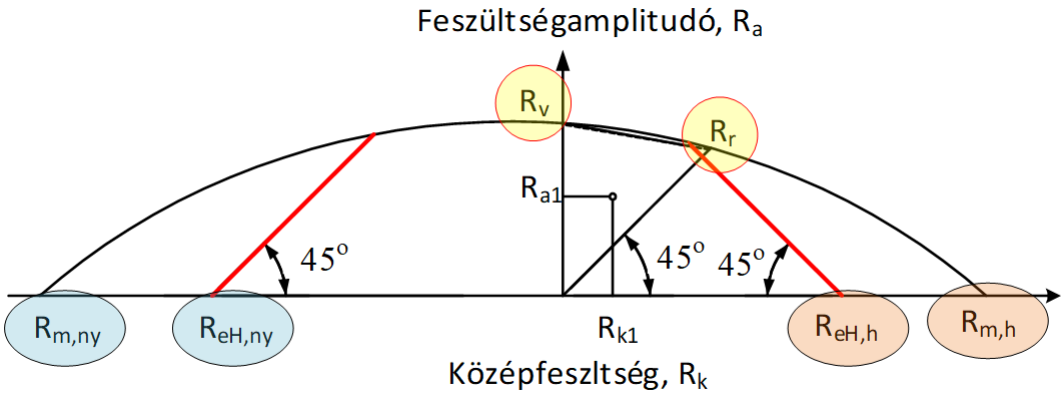
Ne feledjük azonban sohasem, hogy a kifáradási határ is – mint minden más anyagjellemző – függ a terhelés módjától és történetétől is. Így a legegyszerűbb terhelési módokhoz (hajlítás, húzás-nyomás és csavarás) kötődő Smith diagramok is eltérőek. Ezt szemlélteti a 7. ábra.



7. ábra: A terhelés jelleginek hatása a Smith biztonsági diagramokra

A 7. ábra eklatánsan illusztrálja, hogy pl. egy hajlításra méretezett szerkezeti elem üzemeltetése során megjelenő ismételt csavarás milyen nagy mértékben növeli a kifáradás veszélyét. Ennek egyik legeklatánsabb példája volt a BZ motorvonatok este, amikoris nagyobb teljesítményű motorok lettek beépítve. Ekkor ugyanis *„sportosabbá vált a szerelvények vezetése”*, különösen az indítások során.

A Smith diagram alapvetően a homogén, izotróp anyagokra érvényes. Viszont az anizotróp, vagy a húzásra és nyomásra alapvetően eltérő viselkedésű anyagokból (pl. öntöttvasakból) készült szerkezeti elemek is tervezhetők ismétlődő terhelés elviselésére, azaz kifáradásra. Ilyen anyagtípusokra is kidolgoztak un. biztonsági diagramokat. Ezek egyik legismertebbike az un. Haigh diagram. Ezt szemlélteti a 8. ábra.



8. ábra: Húzásra és nyomásra eltérően viselkedő anyagok Haigh biztonsági diagram

Megszerkesztéséhez a következő vizsgálatok elvégzésére van szükség:

- 1 db szakítóvizsgálat és 1 db. nyomóvizsgálat az adott anyag folyási határának ($R_{eH,ny}$, $R_{eH,h}$) ás szakítószilárdságának ($R_{m,ny}$, $R_{m,h}$) meghatározására.
- 2 fárasztóvizsgálat sorozatra a különböző jellegzetes terheléshez tartozó kifáradási határok meghatározására,
  - zérus középterhelésű lengő igénybevételhez tartozó kifáradási határ a R_v, és
  - lüktető húzó igénybevételhez tartozó kifáradási hatát az R_r.

2.3 Biztonsági tényezők a nem klasszikus szilárdsági méretezésben, ellenőrzésben

A nem klasszikus tervezési módszerek közül csupán három területre térünk ki röviden. Ezek a következők

- Törésmechanikai megfontolások
- Az anyagok elridegedési folyamatán nyugvó megfontolások
- Rezgő, forgó rendszerek kritikus jelenségeinek elkerülése

2.3.1 Törésmechanikai megfontolások

E megfontolás lényege az, hogy a szerkezetben, szerkezeti elemben olyan méretű anyagfolytonossági hiányt (elterjedt, de helytelen kifejezéssel hibát) engednek meg, amely az adott kor-

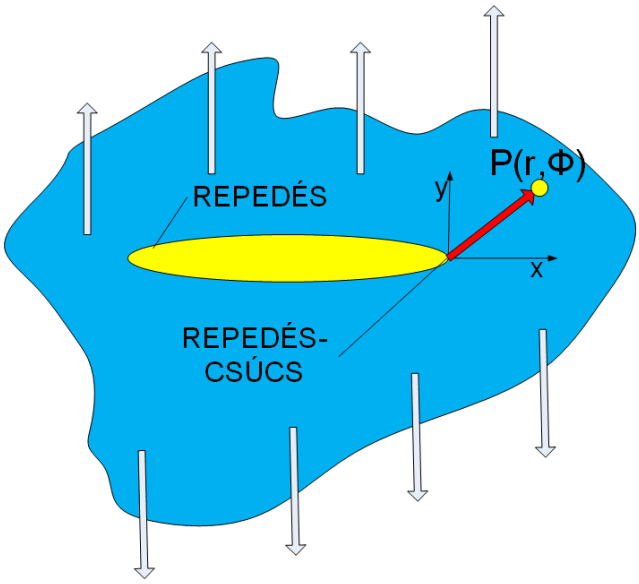
szak eszközrendszerével biztosan detektálható. A *megengedhető méretű anyagfolytonossági hiány* és a beépített anyag adott üzemi körülmények között mért *repedésterjedéssel szembeni ellenállása* alapján az adott elemben maximálisan ébredő feszültségek a *törésmechanika modelljeinek* felhasználásával számíthatók. E modellekkel alapvetően a repedéscsúcs közvetlen környezetében kialakuló viszonyokat, mezőket kell jellemezni, leírni. Ebben viszont a következő három lehetőség adódik:

- feszültségi mező,
- alakváltozási mező, ill.
- energia mező.

Az első két lehetőség vektoriális, azaz egy geometriai pontban a nagysága mellett iránnyal is jellemezni kell, míg az energia csupán helyfüggő, skaláris mennyiség. Ez utóbbi szemléletmód a törésmechanikai modellek lényegének pontosabb megértését is lehetővé teszi. Egy testben terhelés hatására felhalmozott energiák ugyanis repedésterjedés, törés során a következőkre fordítódhatnak:

- új repedésfelületek keletkezésére,
- képlékeny alakváltozásra,
- hővé alakulnak.

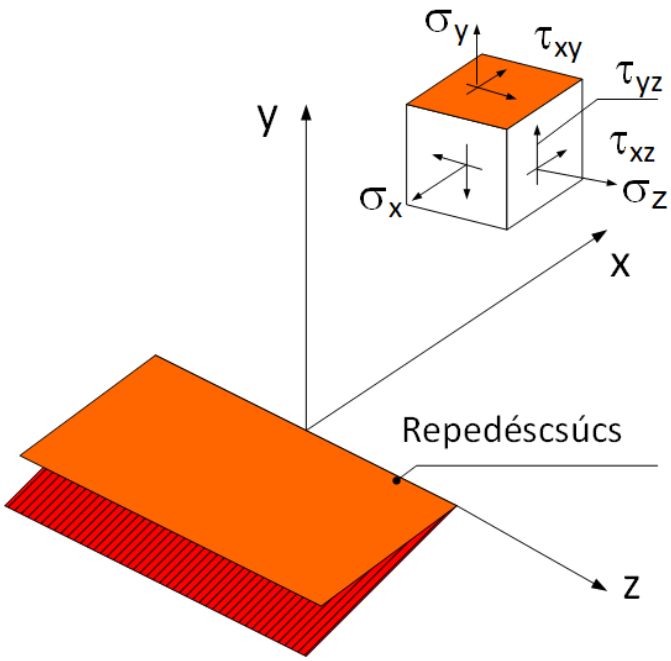
A hővé alakuló energiát elhanyagolva. amennyiben a testben felhalmozott minden energia új repedésfelületet hoz létre, úgy a legkonzervatívabb törésmechanikai modellről, a *ridegtörésről* beszélhetünk. Ekkor, ha a *repedés* megindul azonnal *instabilan* terjed. Ha bármilyen képlékeny alakváltozás végbemegy a repedés csúcsában, ill. annak közvetlen környezetében, akkor ennek energiaigénye van, azaz a testben tárolt energiának csupán kevesebb része fordítódhat a repedés terjesztésére. Ekkor a repedés terjedése általában stabil, azaz, ha hírtelen a terhelés megszüntethető, a repedés további növekedése is megszakadhat. A kontinuummechanikai modell megalkotásánál tehát a repedéscsúcs közvetlen környezetében kialakuló mezőket kell elemezni. Ezt szemlélteti a 9. ábra.



9. ábra: A repedéscsúcs környezetének jellemzése

A repedéscsúcs környezetében tetszőlegesen kijelölt P(r,Φ) pontban ébredő mennyiségek (feszültségek, alakváltozások, elmozdulások, alakváltozási energiák) számításának egyik legnagyobb problémája az, hogy éppen a repedés csúcsában, az a ≡ 0 helyen (a „halál” mezsgyéjén”) nem érvényesek a kontinuummechanikai megfontolások, mert nem képesek leírni azt az esetet, amikor *egyetlen anyagi pontból kettő lesz.* A továbbiakban nagyon röviden áttekintjük a törésmechanikai modelleket, annak érdekében, hogy érzékeltetni lehessen a biztonság, biztonsági tényező szerepét a szerkezetek tervezésénél.

A legkonzervatívabb szemlélet az, amikor a testben terhelés hatására felhalmozódó energia teljes egészében a repedés terjedésére fordítódik. Ez az un. lineárisan rugalmas törésmechanikai modell. Ekkor a repedéscsúcs közvetlen környezetében az anyag rugalmasan viselkedik. A repedés csúcsától r távolságban levő pontban a feszültségek, alakváltozások számíthatók. Ezt szemlélteti a 10. ábra.



10. ábra: A repedés csúcsától r távolságban levő P pontban ébredő feszültségek komponensei

A feszültségi tenzor elemei a következő összefüggésekkel határozható meg:

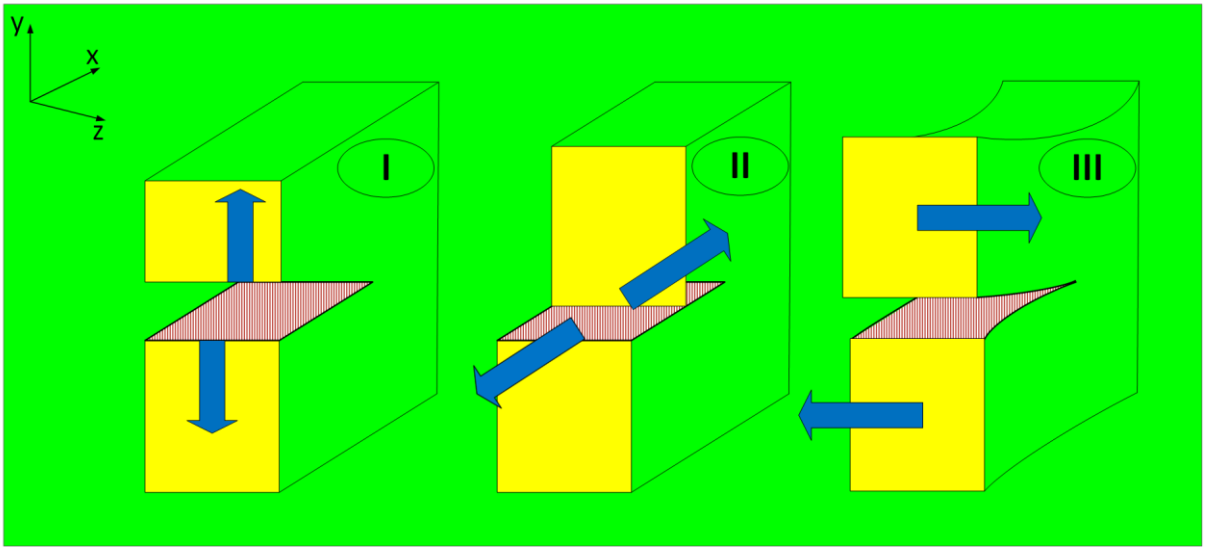
$$\sigma_{ij} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\Theta) \tag{13}$$

ahol

- σ_{ij}- a feszültségi tenzor
- K – a feszültségintenzitási tényező, amely függvénye a
  - a test geometriájának,
  - a repedés hosszának

- a terhelés típusának és nagyságának.

A feszültségintenzitási tényezők számításának összefüggései kézikönyvekben és az INTERNET-en (szinte) minden szerkezeti elemre, terhelésmódra megtalálhatók [4-10]. Ha a repedés csúcsában, annak közvetlen környezetében valamilyen maradó feszültség eloszlása is ismert, akkor ez is figyelembe vehető a súlyfüggvények módszerével [4-10]. Egy tetszőlegesen kiválasztott P(r, Φ) pontban, (így a repedés csúcsának közvetlen környezetében is) a terhelés növelésével a ***K értéke*** is növekszik mindaddig, amíg a repedés el nem indul és instabilan tovaterjed, az elem eltörik. Ez a határérték, a **K_c** anyagjellemző, a ***törési szívósság***, amely az adott körülmények közötti repedésterjedéssel szembeni ellenállás.



11. ábra: repedés síkjának és a terhelés jellegének alapesetei.

(piros színnek a repedés síkja, a kék nyíl a terhelés iránya)

A K_c törési szívósság indexében a c elé írt római számok (K_{Ic}, K_{IIc} és K_{IIIc}) a törési szívósság irányfüggését fejezi ki.

A (13) összefüggésben a K értéke az I. terhelési módra (ez a legveszélyesebb) általában

$$K = \sigma\sqrt{\pi a} f\left(\frac{a}{w}\right) \tag{14}$$

kifejezéssel írható le, ahol

- σ - a repedés síkjára merőleges feszültség,
- a – a repedés hossza,
- f(a/w) a repedés hossza és a szerkezeti elemnek a repedés növekedésének irányába eső geometriai mérete.

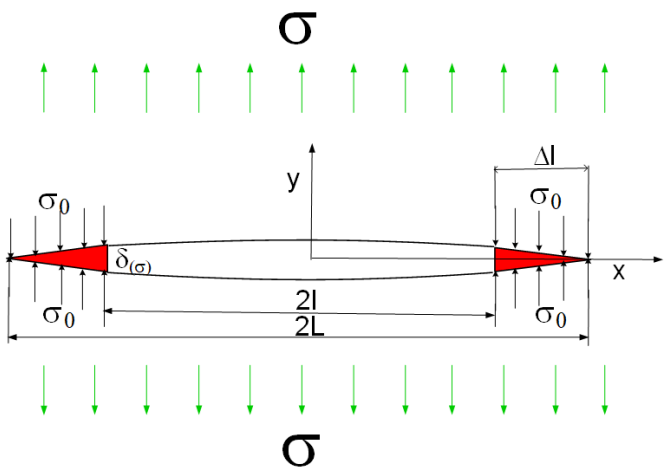
Ha az anyag adott üzemi körülmények közötti repedés ellenállása, a törési szívósság ismert, akkor a (14) összefüggés figyelembevételével

- adott **σ** terhelésnél számítható a kritikus repedéshossz, az a_{krit}, vagy
- adott a repedéshossznál számítható a kritikus terhelés, a σ_{krit}.

Ebből viszont az is egyértelműen következik, hogy mind az anyagjellemzőre, a K_{IC}-re, mind pedig a repedés hosszára definiálható külön-külön biztonsági tényező. Igaz a kettő közötti négyzetes arány a (14) kifejezésből következik.

Szerkezetek tervezésénél általában a második lehetőséget alkalmazzák, azaz definiálnak egy olyan megengedhető repedés hosszat, amely a szokásos roncsolásmentes vizsgálatokkal egyértelműen detektálhatók.

Egy másik lehetséges törésmechanikai modell az, amikor már a repedés csúcsában végbemenő képlékeny alakváltozást (az ehhez szükséges energia elnyelődést) is figyelembe vesszük [13]. A mechanikai modell megalkotásánál itt az *anyagot rugalmas + ideálisan képlékenynek* tételezzük fel.



12. ábra: Az általános folyási törésmechanika modellje

Ebben az esteben a terhelő feszültség (σ), a repedés tövének kinyílása (δ) és az anyagi tulajdonságok – a folyási határ (σ_F) és a rugalmassági modulus (E) – között az egyensúlyi feltételek megtartása miatt az alábbi kapcsolat van:

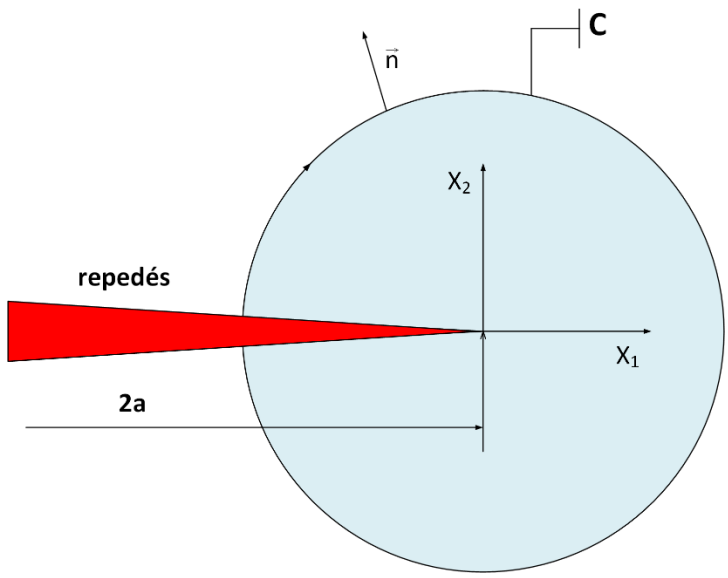
$$\delta = \frac{8\sigma_F a}{\pi E} \ln\left(\sec \frac{\pi}{2} \frac{\sigma}{\sigma_F} \right), \tag{15}$$

A (15) összefüggés értelmében a terhelés, a σ növelésével a repedéstő kinyílása, a δ is növekszik mindaddig, amíg az így kialakult *képlékeny ék magassága* el nem éri azt a kritikus értéket, a δ_{krit} amikor a repedés terjedni kezd, azaz a képlékeny ék elindul előre, törést okozva. A δ_{krit} ezen értéke anyagjellemző (alakváltozás típusú), amelyet természetesen az üzemeltetési viszonyokra jellemző környezetben kell meghatározni. A szerkezetek tervezési periódusában vagy a megengedhető *terhelésre,* vagy pedig a megengedhető *repedés kinyílásának* mértékére lehet *biztonsági tényezőt definiálni*. A kettő közötti kapcsolat a (15) összefüggésből következik.

A repedéscsúcs környezetének energetikai mezője is elemezhető. A kontinuummechanika alaptörvényeiből *nem lineáris anyagtörvény* feltételezésével következik az, hogy a repedés egyik felületéről a másikig futó görbe mentén számított J-integrál értéke

- energia jellegű mennyiség, amely a repedéscsúcs környezetében, a rugalmasan alakváltozó tartományban futó görbe kontúrján belül nyelődik el,
- független a görbe alakjától, és a
- $J \equiv 0$, ha a görbe zárt, azaz nem a repedést veszi körbe.

A modellt a 13. ábra szemlélteti.



13. ábra: A J-integrál kontinuummechanikai modellje

Amennyiben ismeretes a repedést tartalmazó elem feszültségi (σ_{ij}) és alakváltozási (ε_{ij}) mezeje (ami pl. numerikus módszerekkel meghatározható), akkor a

$$J = \oint_c \left[u(\varepsilon_{ij})/dx_2 - \vec{f}_{ni}(dt_i/dx_1)ds\right] \tag{16}$$

integrál értéke független a repedéscsúcsot körülvevő C-görbe alakjától, ahol

- $u(\varepsilon_{ij}) = \int_0^{\varepsilon_{ij}} \sigma_{mn} d\varepsilon_{mn}$ a **C-görbe pontjaiban**,
- $\vec{f}_{ni} = \sigma_{ij} n_j$ a C-görbe pontjaiban egy ds hosszúságú ívelemre ható erő komponensei,
- n_j - a C-görbe normálvektora,
- t_i - az elmozdulásvektor koordinátái a C-görbén.

Az (16) összefüggéshez vezető elgondolást egymástól függetlenül először **Rice** és **Cserepanov** publikálta 1968, ill. 1967 években [14, 15].

E modellt alkalmazva a szerkezet, szerkezeti elem tervezésének stádiumában vagy a megengedhető terhelésre, vagy pedig a megengedhető repedéshosszra nézve adhatók meg korlátok

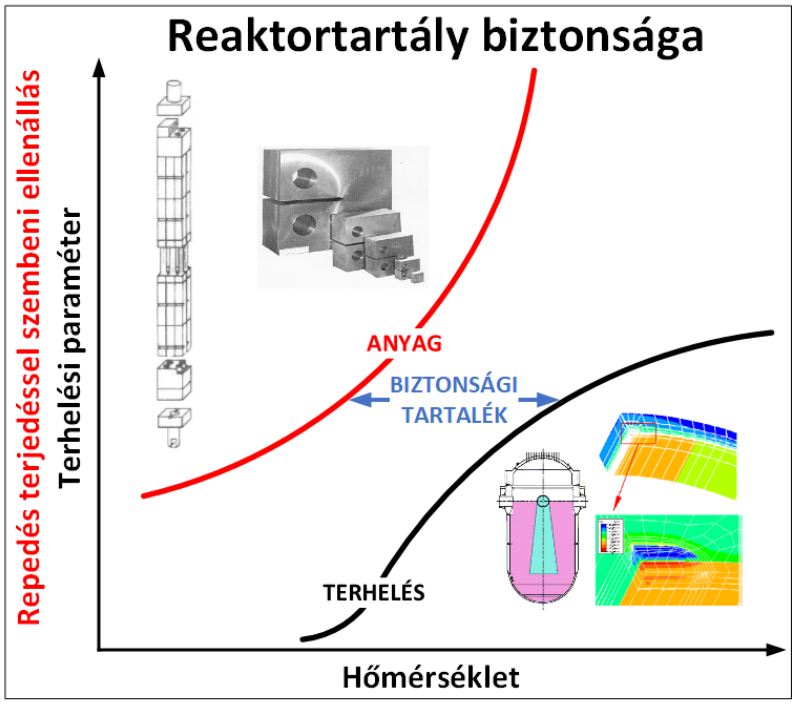
biztonsági tényezők definiálásával. Igaz a két különböző biztonsági tényező kapcsolata, már nem egyszerűen átlátható, de létezik.

2.3.2 Biztonsági tényező az anyagok elridegedési folyamatán nyugvó megfontolások figyelembevételével

E gondolatkör olyan törésmechanikai modellhez kapcsolódik, amikor az anyag üzemeltetés során folyamatosan ridegedik, azaz az eredeti szívós állapotából a ridegbe megy át. A szemlélet a nukleáris iparban terjedt. Lényege a következő

- hűtőközegvesztéses üzemzavar esetén adott hőmérsékletű vizet juttatnak a reaktortartályba, hogy biztosítsák az aktív zóna hűtését. A folyamatot, illetve a kiváltott tranziens igénybevételt az angol nyelvű szakirodalom PTS-sel - Pressurized Thermal Sock jelöli),
- az üzemi és a benyomott víz hőmérsékleteinek különbsége miatt a csonk körül egy tranziens hőmérsékleti (és ezzel feszültségi) mező alakul ki a nagy vastagságú (általában 250 mm) falban,
- cél az, hogy az ebbe az elridegedett környezetbe posztulált, üzembiztosan detektálható repedés ne terjedjen ridegen, instabilan, katasztrofális körülményeket okozva.

A követendő gondolatsort szemlélteti a 14. ábra.



14. ábra: A biztonságos vészleállás követelményei a nukleáris iparban

Az ábrán látható görbék értelemzése a következő:

- bal oldalon pirossal jelölt görbe a reaktortartály anyagának törési szívóssága üzembehelyezés során, ami az üzemeltetés során a neutron besugárzás hatására bekövetkező elridegedés miatt folyamatosan és jobbra tolódik,

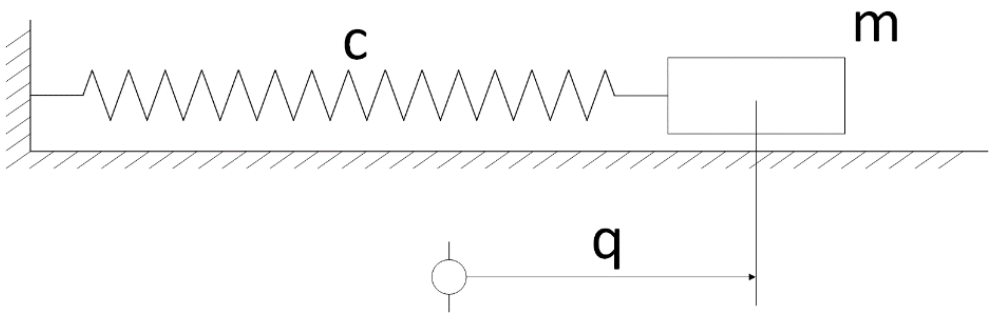
- a jobb oldali fekete színű görbe a posztulált repedés környezetében az üzemzavari hűtővíz beömlésével kialakulóló hőmérsékleti mező és terhelés okozta feszültségintenzitási tényező.

Ridegtörés nem következik be mindaddig, amíg a fokozatosan jobbra tolódó törési szívósságot reprezentáló piros színű görbe nem érintkezik a kék színű görbével, azaz a törési szívósság nem lesz egyenlő a termikus sokk által előidézett feszültségintenzitási tényezővel.

2.3.3 Rezgő, forgó rendszerek biztonsága, biztonsági tényezője

Rezgő, forgó rendszereknél a biztonságot mindig a kritikus jelenségek elkerülése jelenti. Másképpen fogalmazva a rendszer saját frekvenciáján (vagy ennek első, második stb.) felharmonikusán történő üzemeltetés, gerjesztés jelenti a kritikus állapotokat. Ezek elkerüléséhez bizonyos rezgéstani, lengéstani ismeretek szükségesek [16-18]. E rövid fejezetben csupán néhány egyszerű példával kívánom érzékeltetni az ilyen szerkezeti elemeknél követendő gondolatmenetet a biztonság garantálásra.

Induljunk ki abból a legegyszerűbb esetből, amelyet a 15. ábra szemléltet.



15. ábra: Egytömegű rezgőrendszer

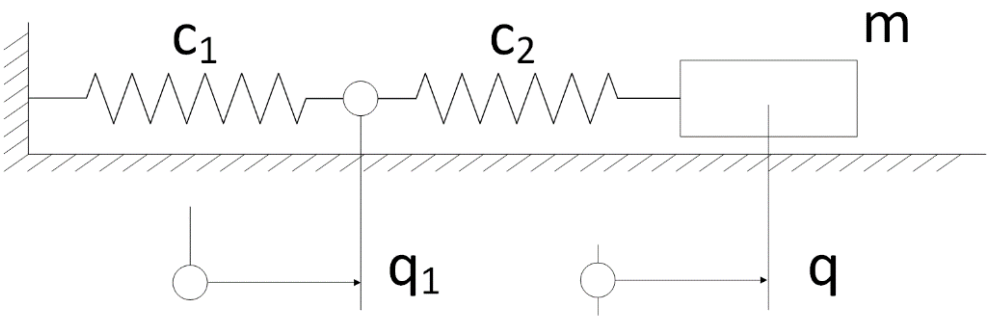
Ezen egytömegű (m) rezgőrendszereben c a rugóállandó. Ennek sajátfrekveniciája (f_k, különböző szakkönyvekben eltérő jelölések is találhatók)

$$f_k = \frac{1}{2\pi\sqrt{mc}} \tag{17}$$

ami $\omega=2\pi f_k$ szögsebességnek felel meg. Ha ilyen frekvenciával gerjesztjük (üzemeltetjük) a rendszert, akkor a rezgés amplitúdója végtelenné válik, esetlegesen katasztrófa is bekövetkezhet. Elkerülésére két alapvető lehetőség van:

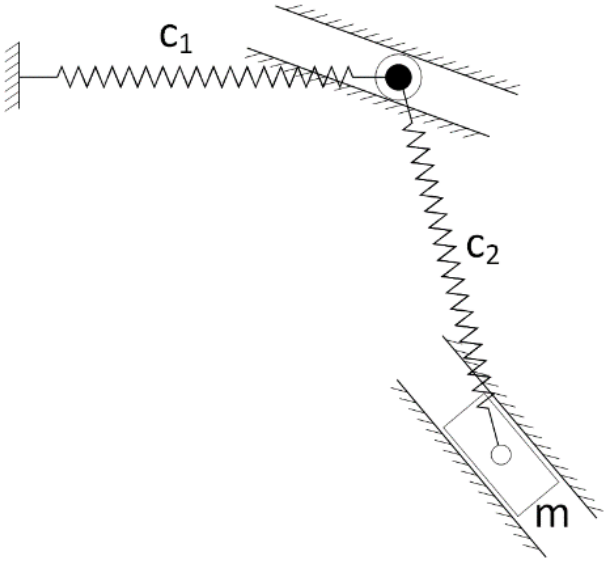
- az mc változtatása,
- az üzemeltetés körülményeinek változtatása.

A továbbiakban csupán néhány olyan egyszerű példa kerül említésre, amelyek lehetővé teszik a (17) összefüggés kapcsán tett megállapítások nagyon egyszerű alkalmazhatóságát az első pillantásra bonyolultabbnak tűnő esetekben is. Ekkor a rendszer rugóinak hatását egy eredő rugóállandóra (c) vezetjük vissza minden esteben. Ha egy tömeget két különböző rugóállandójú (c_1 és c_2) rugóval a 16. ábrán látható módon „sorba” kötünk, akkor az eredő rugóállandó értéke $c=c_1+c_2$ lesz.

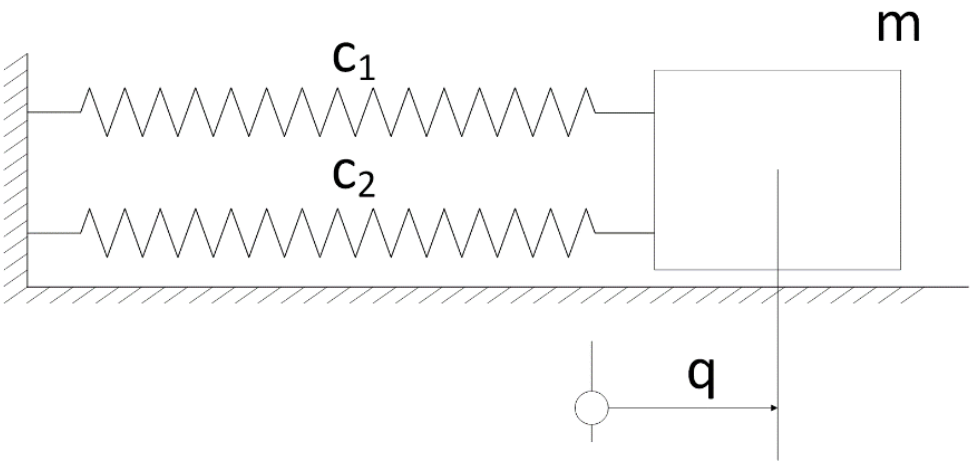


16. ábra: Egytömegű rezgőrendszer sorbakapcsolt rugókkal

Teljesen hasonló a helyzet a 17. ábrán látható elrendezésben is, azaz az eredő rugóállandó értéke ebben az esetben is $c=c_1+c_2$ lesz.

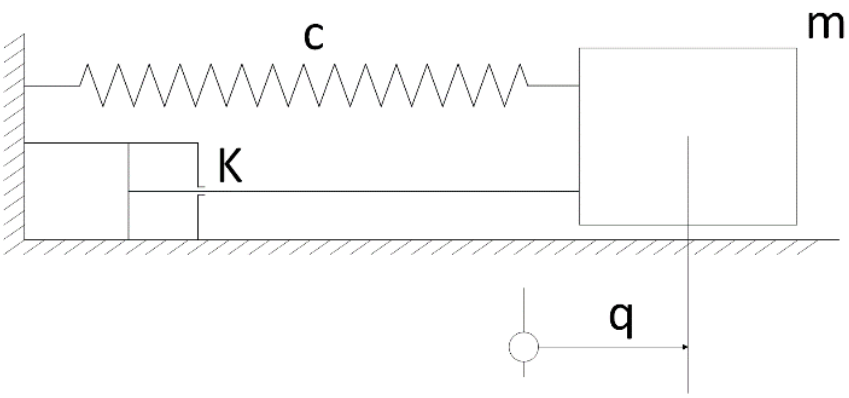


17. ábra: Egytömegű rezgőrendszer sorbakapcsolt rugókkal



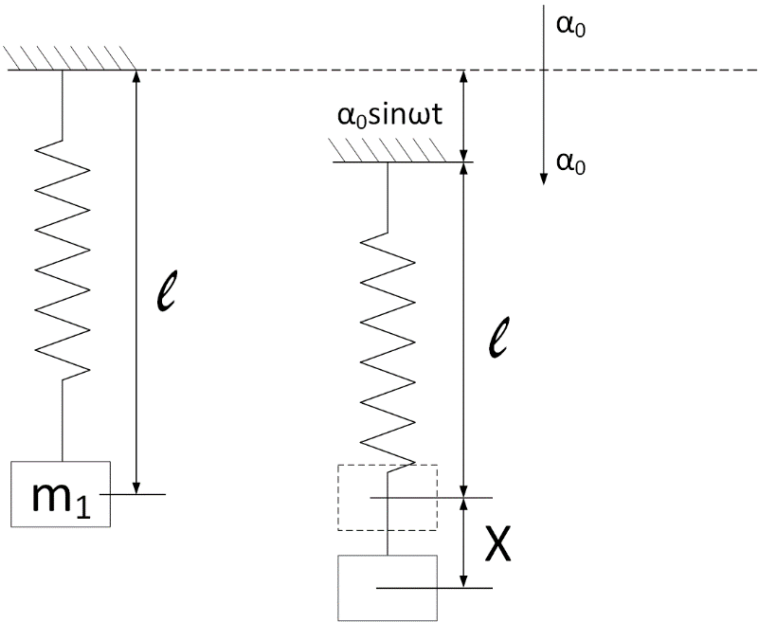
18. ábra: Egytömegű rezgőrendszer párhuzamosan kapcsolt rugókkal

A 18. ábrán látható elrendezésben az eredő rugóállandó, az $1/c=1/c_1 + 1/c_2$ kifejezéssel számítható.



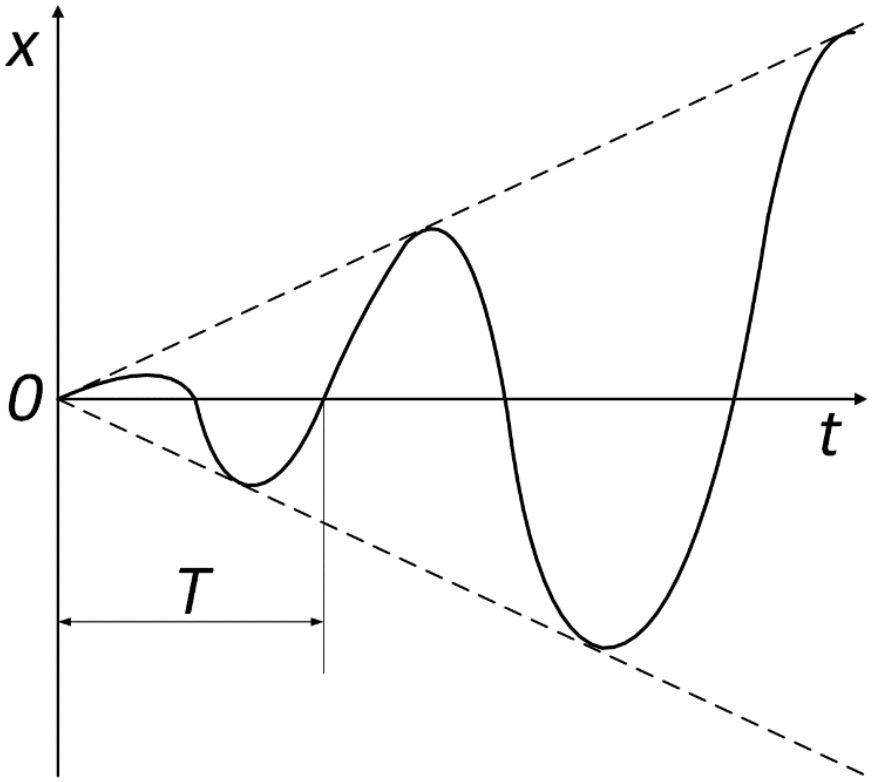
19. ábra: Egytömegű, sebességgel arányosan csillapított rezgőrendszer

Az ilyen egytömegű rendszerek rezgésének jellegét már nem csupán a tömeg (m) és a rugóállandó (c), hanem a csillapítás (K) is befolyásolja. Ez utóbbi pedig többféle is lehet, pl. elmozdulással, sebességgel, gyorsulással arányos is. Maradva az egytömegű rendszereknél, ha nem merev a befogás, hanem az periodikusan mozog (mint ahogyan a „similabdával" játszunk), ekkor is legkülönbözőbb szituációk fordulhatnak elő. A példát a 20. ábra illusztrálja. Ennek bal odalán látható a merev befogás, míg a jobb oldalon a gerjesztéssel, annak mindkét paraméterével, az amplitúdójával és frekvenciájával.



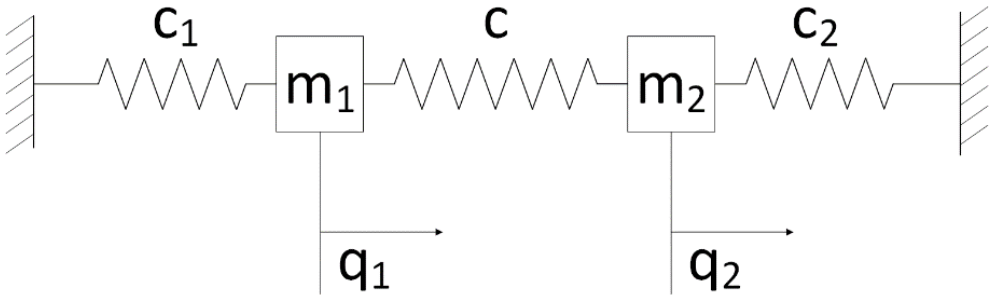
20. ábra: Egytömegű, periodikus befogású (gerjesztésű) rezgőrendszer

Ezen rendszer rezgésviszonyai így már 4 db paraméterrel befolyásolható, szabályozható (gondoljunk a „similabda" mozgatására!). Így biztosan megtalálhatók azok, amelyeknél az m-tömeg (a similabda) x kitérése folyamatosan növekszik (lásd a 21. ábrát), de egyéb más rezgésviszonyok is beállíthatók a paraméterek változtatásával.



21. ábra: Növekvő amplitúdójú rezgés rezonancia esetén

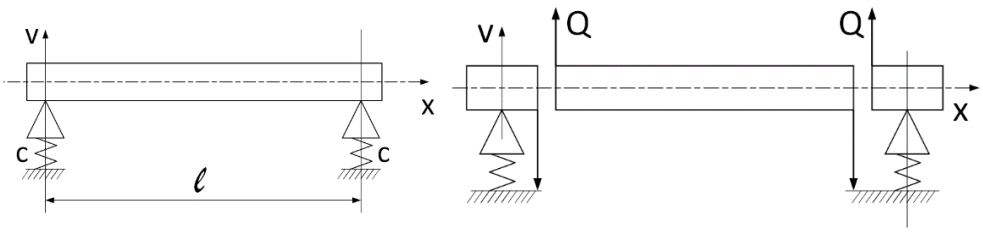
A lengő-, rezgő rendszerek biztonságának tervezése, elemzése egyre bonyolultabbá válik abban az esetben, ha a tömegek száma növekszik. A 22. ábra egy kéttömegű, kétszabadságfokú rezgőrendszert szemléltet.



22. ábra: Kétszabadságfokú rezgőrendszer

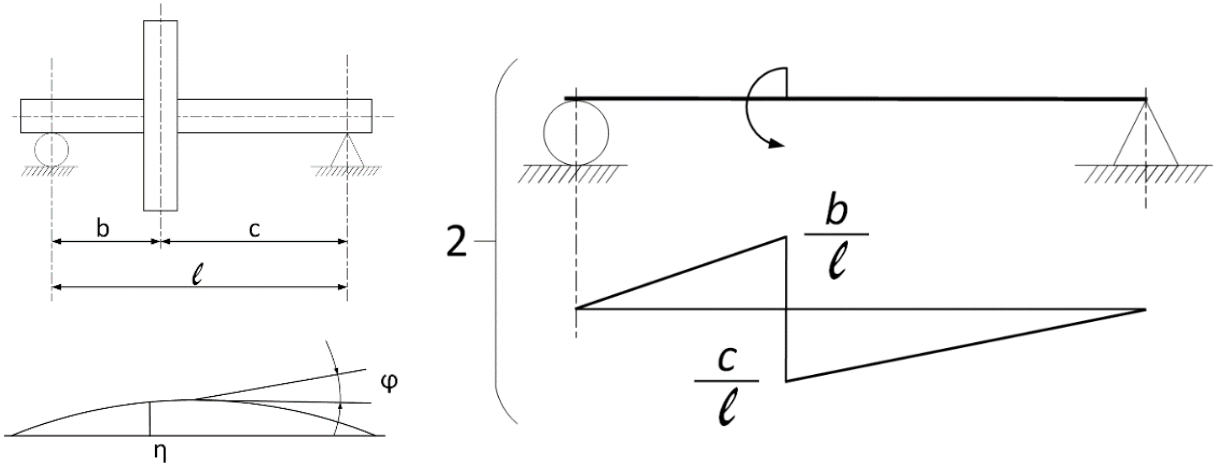
E rendszernél az m_1 és m_2 tömegek mozgásviszonyait már 5 paraméter (c, c_1, c_2, m_1 és m_2) befolyásolja, következésképpen a biztonság, a biztonsági tényező már a tervezés periódusában kézben tartható.

Hasonló gondolamenetet követhetünk a tengelyek, turbinák tervezésének folyamatában is. Ebben az eseteben is az a cél, hogy üzemi körülmények között a rezonanciát elkerüljük, azaz a rendszer saját rezgése, sajátfrekvenciája ne essen egybe a gerjesztéssel. A tengelyekre mutat jellegzetes példákat a 23. ábra, ahol a csapágyazás, a megfogás rugalmas.



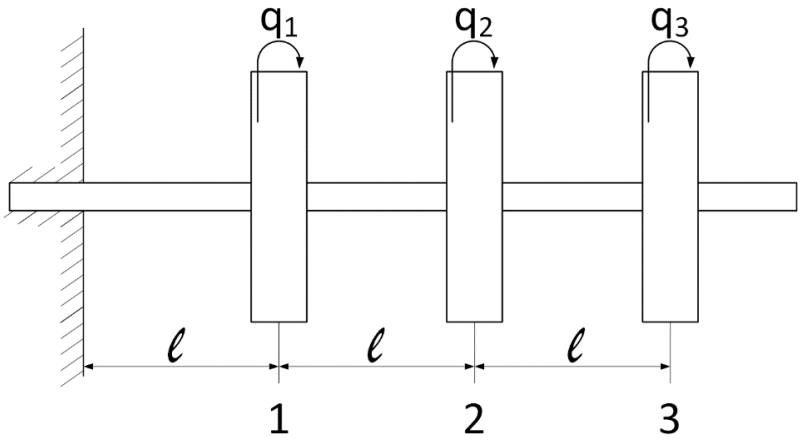
23. ábra: Rugalmasan alátámasztott tengely rezgése és igénybevételeinek számítása

A rezgésből adódó terhelések, igénybevételek számíthatók. Más tipikus esetet szemléltet a 24. ábra. Itt a tengelyre merőlegesen tárcsa van illesztve és az nem a támaszköz középső részén van elhelyezve. Ebben az esteben is analitikusan számíthatók az elmozdulások, a tengely alakja, a sajátfrekvenciát. Még inkább tovább bonyolódik a helyzet, ha egy tengelyre nem csupán egy, hanem egyidejűleg több tárcsa is felillesztésre kerül. Az ilyen típusú feladatok is zárt alakban megoldhatók.



24. ábra: Tengelyre illesztett tárcsa együttes rezgése

A szakirodalomba számos kidolgozott példa felelhető [16-18] mind a hajlító, mind a csavaró rezgések, mozgások és a kritikus jelenségek, helyzetek feltételeinek meghatározására.



25. ábra: Három, közös tengelyen levő torziós tárcsa rezgése

Az előzőkben ismertetett megfontolások egyértelműen bizonyítják azt, hogy egy adott piaci igény kielégítésére „megálmodott” szerkezeti elem, szerkezet tervezésének stádiumában rendelkezésre állnak olyan elméletileg megalapozott eljárások, ökölszabályok, szabványok, amelyek használatával a termék biztonsága garantálható. Viszont az is egyértelműen kitűnhetett, hogy a tervezés során végezhető számítások többnyire modelleket vesznek alapul. Ez viszont minden esteben felveti azon kérdés jogosságát, hogy maguk a modellek milyen mértékben, milyen jósággal, megbízhatósággal tükrözik le a fizikai valóságot. Így fordulhat elő az, hogy a különböző modellek használata nem vezet(het) tökéletesen azonos eredményekre. E bizonytalanságokat lehet „betakarni, paplan alá tenni” a műszaki gyakorlatban bevált, a műszaki gyakorlattal visszaigazolt ***biztonsági tényezők nagyságának*** megválasztásával. Az elméleti megfontolások – de még inkább a számítás- és méréstechnika rendkívül gyors fejlődésével a modellek egyre inkább adekvátabbak leszenek, a tervezett szerkezet viselkedése az üzemeltetés körülményei között egyre jobban, pontosabban regisztrálható, következésképpen mindezek visszahatnak a tervezési módszerekre, eljárásokra.

A megtervezett elemeket, egységeket azonban le is kell gyártani. Ez egy újabb kontrolált folyamat. A kontrol azonban mindig a gyártás korában meglevő műszaki színvonalhoz és szemlélethez, eszközökhöz kötődik. Különösen nagy jelentőségű ez a hosszú üzemidőre tervezett szerkezeteknél, pl. hidaknál, acélszerkezeteknél, erőműveknél. Gondoljunk csak bele az 1889. március 31.-én, a Párizsi Világkiállítás helyszínén átadott 324 m összmagasságú Eiffel torony tervezési, gyártási folyamatába abból a szemszögből, hogy a szilárdságtan elméleti alapjait leíró első könyvet Gabriel Lamé jelentette meg 1852-ben. Az acélok gyártási technológiái 1855 -1877 között lettek kidolgozva (Bessemer – Thomas). Az acélok minősége egységesen elfogadott rendszerének kidolgozása és bevezetése az 1880-as években indult! Mindezek tények, ez a valóság. Ezt kell tudomásul venni és ilyen gondolatkörben kell élni, szemlélni környezetünket, szerkezeteinket. Nyilvánvaló, hogy a Gustave Eiffel tervezőcégének munkatársai – a mai szemmel nézve – jókora biztonsági tényezőket „építettek bele” az acélszerkezetbe. és a torony messze nem annyira karcsú, mint pl. a világ jelenleg legmagasabb építménye a Dubajban található 824 m-es Burdzs Kalifa torony, amelyet 2010. január 4.-én adtak át.

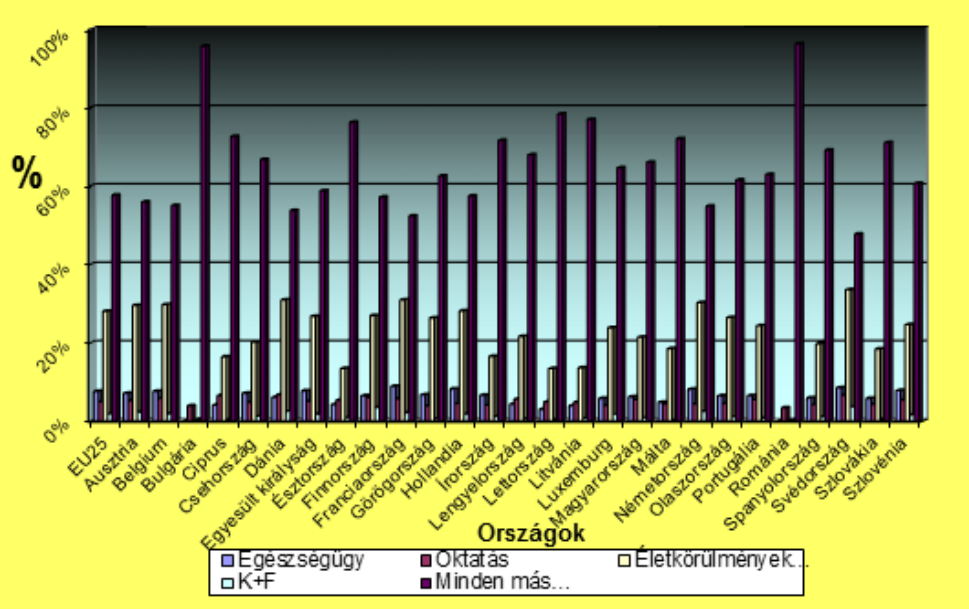
3 Megbízhatóság

3.1 Tervező – Gyártó – Üzemeltető – Szakértő: jogi viszonyok

A piaci igényeket kielégítő szerkezeteket – amelyekbe a tervezés során „beépítették" a műszaki gyakorlat során elfogadott és igazolt (verifikált) biztonságot – ***legyártják.*** A gyártási folyamatot és a termék minőségét az adott korszak színvonalával determinált előírás – és eszközrendszer alapján ellenőrzik. Ha a terméket megfelelőnek ítélik, akkor üzembeállíthatónak, használatba vehetőnek ítélik. Ha nem akkor még a gyártóműben döntenek a javítás/selejtezés kérdésében. A továbbiakban a késztermék egyrészt az **üzemeltető tulajdonába** kerül, másrészt **„éli a maga életét"** és -elvileg – biztonságosan használható a tervezésben figyelembe vett *üzemeltetési körülmények között* a tervezett *élettartam végéig.* A mindenkori **biztonságért** így a **tulajdonos** lesz a **felelős.** Ezen álláspont egyrészt logikus(nak) tűnik/tűnhet, ha a tulajdonos képviselője a gyártás folyamatát ellenőrizni és befolyásolni tudja. Mivel a „gyártó" és „üzemeltető" jogilag elkülönül, csak a közöttük megkötött „jogi ügyletek" keretében szabályozhatók olyan kérdések is, mint *a „kész termék előállításának folyamata és ebben előforduló rendellenességek".* Ilyen lehet pl. egy hegesztett szerkezetben a gyártás során a gyártási hegesztési hibák, azok javítása, egyengetés, hidegalakítás, torzulások és ezek javítása. Mindezekről a gyártási hibákról az üzemeltetőnek nem lesz tudomása, mert a terméket tulajdonába átvette, miközben e hibák, rendellenesség számos és sokszor nagyon nehezen kibogozható és súlyos balesetek kiinduló gócai lehetnek. Gondoljunk például egy nyírkos őszi/tavaszi időben, nem megfelelően kiizzított bázikus elektródával végzett helyszíni hegesztett varratra. A varratanyag hidrogéntartalma idővel repedést iniciál, majd az üzemeltetés során terjed és esetlegesen törést is okoz. A szakértőnek arra kell(ene) egyértelmű választ adni. hogy „ki a felelős" a bekövetkezett károkért? ***„Jogilag"*** egyértelmű a helyzet, mivel az üzemeltető, a tulajdonos „hibátlan terméket vett át". Annak érdekében, hogy az előző *„abszurd helyzet"* feloldható legyen, az esetleges meghibásodások, káresetek okainak ***kivizsgálására*** új ***„jogi ügyletet"*** kell indítani. Ennek keretében a „jogügyi" folyamatban, eljárásban *„törvényszéki szakértőt/szakértőket"* rendelhetnek ki. A „törvényszéki szakértő" az adott területen járatos, magasan képzett – gyakran mérnök vagy tudós – szakember, aki a jogi esetben érintett felekhez semmilyen egyéb módon vagy érdekből nem kötődik azon kívül, hogy az eset okairól objektív, a megközelítést és a következtetéseket is tartalmazó szakmai véleményt alakítson ki és következtetéseket közöljön. A törvényszéki szakértő feladata az alábbiak meghatározása:

- Mi történt?
- Hol történt?
- Hogyan történt?
- Miért történt?
- Mi okozta?
- Ki a felelős a történtekért?
- Mennyi a javítás vagy kicserélés költsége?
- Milyen kár érte az érintett feleket?

Nyilvánvalóan <u>csak akkor</u> érdemes foglalkozni a ***„termék gyártója*** és ***„üzemeltetője”*** közötti jogi kapcsolat részleteivel, ha a „termékekkel” kapcsolatos káresetek gazdasági hatása érzékelhető az országok gazdasági életében. Egy korábbi felmérés szerint az országok a megtermelt GDP-jük 4%-át veszítik el különböző kárestek kapcsán [20]. Az alapkérdés az, hogy ez a 4% mit takar.



26. ábra: A GDP felhasználásának arányai az EU tagállamaiban

Ha egy általános, nagyságrendi áttekintést kívánunk tenni a megtermelt GDP felhasználási arányairól, akkor tekintsünk a 26. ábrára, ahol az EU korábbi tagállamainak GDP felhasználása látható. Ezek szerint három olyan terület van, amelyben a finanszírozás a GDP 10%-nál kisebb. Ezek

- egészségügy
- oktatatás
- kutatás-fejlesztés (K+F).

A fenti három közül egyedül a K+F tevékenység finanszírozására költenek 5%-nál kevesebbet az EU országai a megtermelt GDP-jükből. A „végleteket”, azaz a maximumokat és minimumokat is áttekinthetjük a 2. táblázatban.

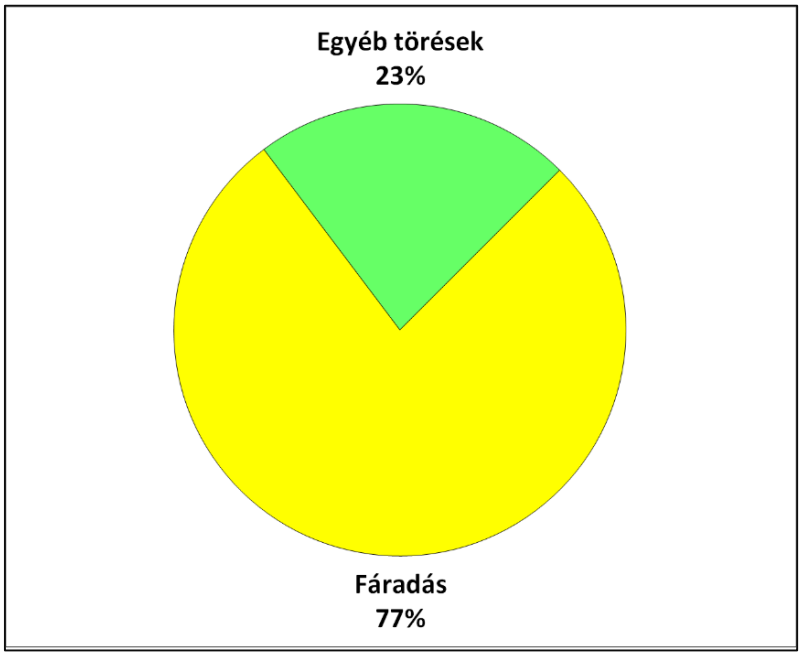
		Egészségügy	Oktatás	K+F	Életkörülmény és jólét	Minden más összesen
Minimum		3,00%	3,40%	0,3	13,4	47,70%
	Ország	**Lettország**	**Románia**	**Málta**	**Észtország**	**Svédország**
Középérték		5,95%	5,05%	2,00%	23,45%	71,85%
Maximum		8,90%	6.70%	3,70%	33,50%	96,20%
	Ország	**Franciaország**	**Dánia**	**Svédország**	**Svédország**	**Románia**

2. táblázat: Az EU tagországok GDP felhasználásának aránya a különböző szektorokban

A 2. táblázat adatait szemlélve számos – nem is mindig a káresetek okozta hatásra is lehet következtetni. Ezek közül csupán egytelen tény kiemelve, az erősen centralizált elosztást (Románia) és liberális szemlélet térhódítását (Svédország), azaz a „minden más összesen” elosztását. Az viszont egyértelműen látszik, hogy a már korábban említett kb. 4%-os veszteség, amely káresetekből adódik, nem kevés, a K+F tevékenységre fordított támogatást meghaladja, esetenként annak többszöröse is lehet.

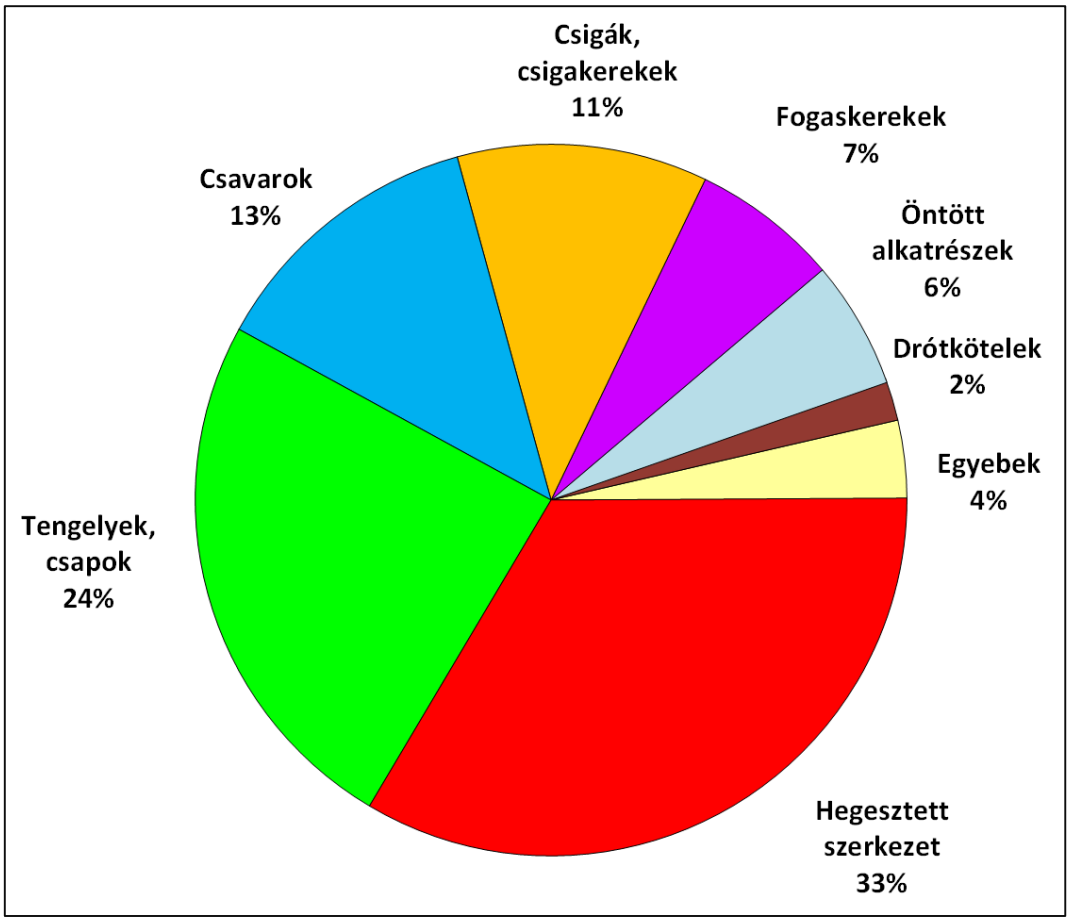
A káresetek két legnagyobb csoportja a korrózióhoz és kifáradáshoz köthető. A „World Corrosion Organisation” honlapja (http://corrosion.org) szerint a világ anyagi vesztesége 2.2 10^{12} USD/év (vagy a valuták közötti árfolyam figyelembevételével) 1.3 10^{12} EURO/év. Ez 3.1-3.5 %-a világ GDP-jének. Hogy melyik a domináns korróziós mechanizmus? Ez nehezen megválaszolható. Az ok relatíve egyszerű, rendkívül nagyszámú mechanizmus különböztethető meg. Csak az American Petroleum Institute egyik szabványa (API 571) 69 eltérő korróziós jelenséget különböztet meg, kezdve a „szulfizidáció”-val, befejezve az ecetsav/anhidrid okozta korrózióval. Hogy melyik mechanizmus a meghatározó a korróziós folyamatokban? Ez pedig a leginkább lokális és kissé tágabban földrajzi jellegű (trópusi vagy artisztikus stb.).

Talán általánosabb következtetések levonására alkalmasabbak a kifáradáshoz kötődő kárestek. Mint korábban a 2.2 pontban már említésre került, a kifáradás jelenségének szisztematikus vizsgálata az 1840-es években, mintegy 15 évvel a mindennapi vasúti közlekedés megindulása (1825. szeptember 27. a Stockton-Darlington szakasz átadása) után virágzott fel. Az nyilvánvaló, hogy minden statisztikai adathalmaz eltérő módon is értékelhető. Ha csupán a bekövetkezett törések adathalmazára pillantunk, teljesen egyértelmű, hogy a törések meghatározó hányada a kifáradás jelenségével kapcsolatos. Ezt igazolja a 27. ábra. Eklatánsnak tűnik, hogy a károsodások legalább ¾ része az ismétlődő terhelésekhez kötődik. A 2.2. pontban kellően érzékeltetésre kerültek azok a nehézségek, amelyek az ilyen terhelésű szerkezetek tervezése során használt „beépített biztonsági tényezők” körül adódnak.



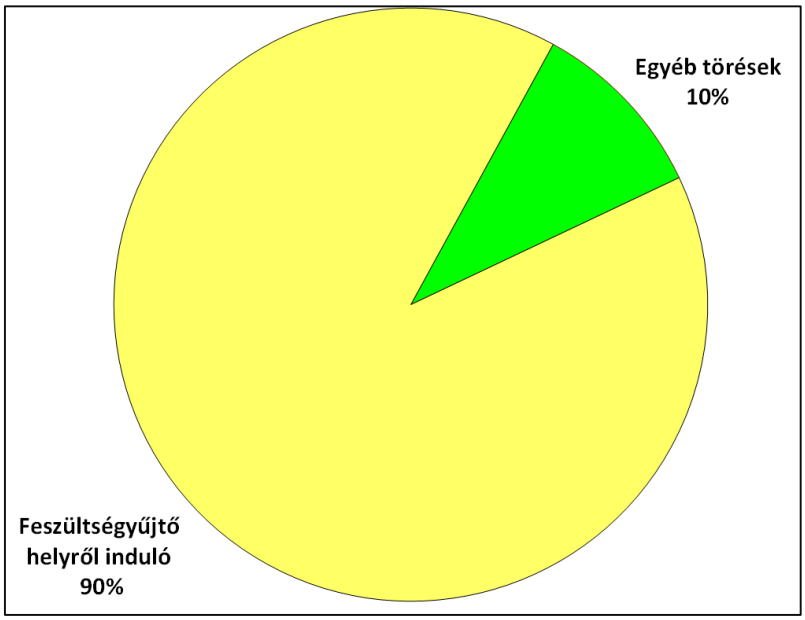
27. ábra: Törések sajátosságai

A kifáradásra, az üzemeltetési körülményekre és az ismétlődő terhelés hatására visszavezethető kárestek megoszlását szemlélteti a 28. ábra.



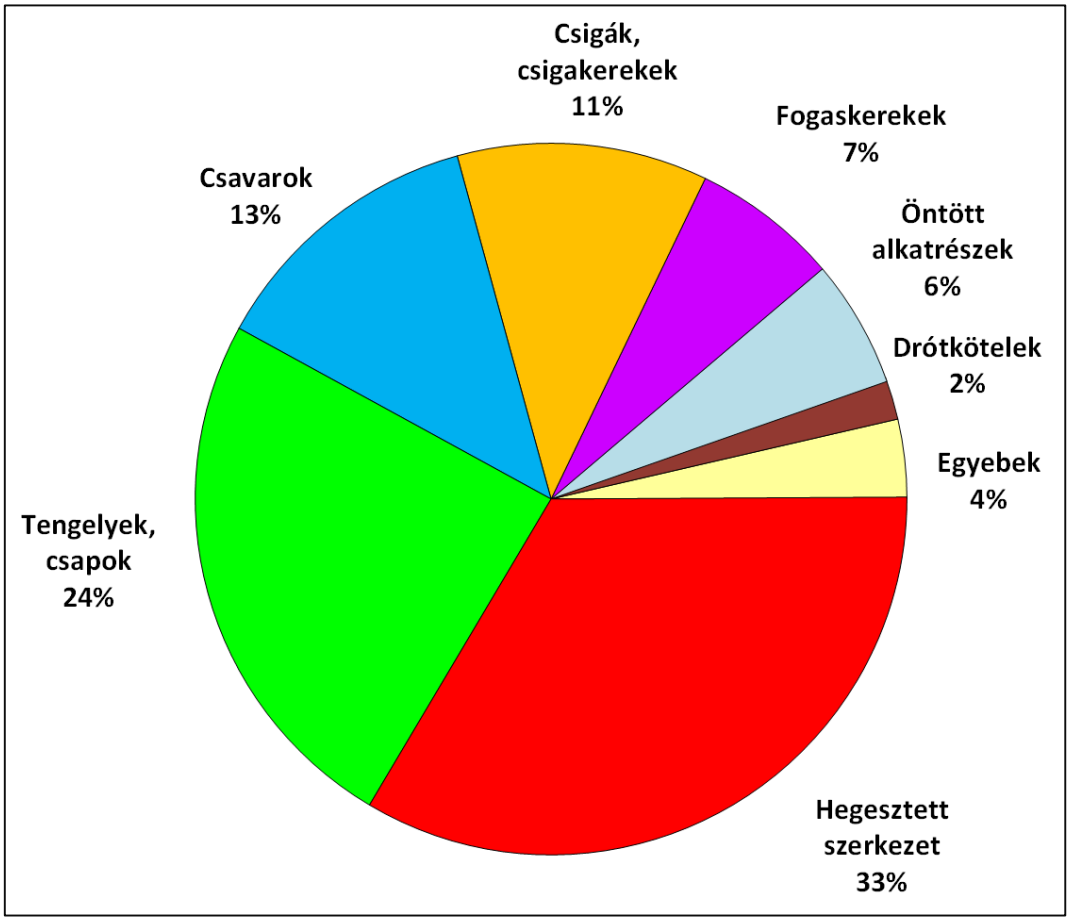
28. ábra: Az ismétlő terhelés hatására bekövetkezett törések sajátosságai

Az ábra egyértelműen alátámasztja azt a következtetést, hogy a káresetekben a normál ismétlődő terhelés az „igazi ludas”. Részaránya meghaladja az 50%-ot és eléri a mintegy 60%-ot. 8% körüli hányadot szakít ki magának a kisciklusú fáradás (többnyire hőerőművek), a hőfáradás (turbinák elsősorban a gázturbinák miatt – jelentőségük a légiközlekedéssel és a városi fűtőművek elterjedésével fokozódik). Ahhoz, hogy valamilyen szerkezeti elem ismétlődő igénybevétel hatására kettétörjen két alapvető okra van szükség. Keletkeznie kell egy, az adott körülményekre jellemző terjedőképes repedésnek, majd stabilan növekednie kell egészen a kritikus, a törést előidéző méretéig. A repedés keletkezésének periódusát kiválthatja akár egy már meglevő anyagfolytonossági hiba, pl. hegesztés, öntés, képlékeny alakítás stb. miatt. Ebben az esteben csupán a repedés stabil növekedésének tartománya jellemzi a szerkezet károsodásának folyamatát. Ha nincs anyagfolytonossági hiba, akkor a repedés meghatározó módon azokon a helyeken keletkezik, ahol lokális feszültségcsúcsok keletkeznek. Ezeket szokták „feszültséggyűjtő helyeknek” nevezni. E megállapítást a bekövetkezett törések statisztikai adatai egyértelműen igazolják



29. ábra: A törések kiinduló helyeinek statisztikái

Nyitott kérdésnek tekinthető az, hogy milyen típusú gépelemek, mérnöki szerkezetek azok, amelyek meghibásodása a kifáradásra vezethető vissza? Az erre adandó választ segít megadni a 30. ábrán látható feldolgozás. A hegesztett szerkezet törése mindenképpen meghatározó.

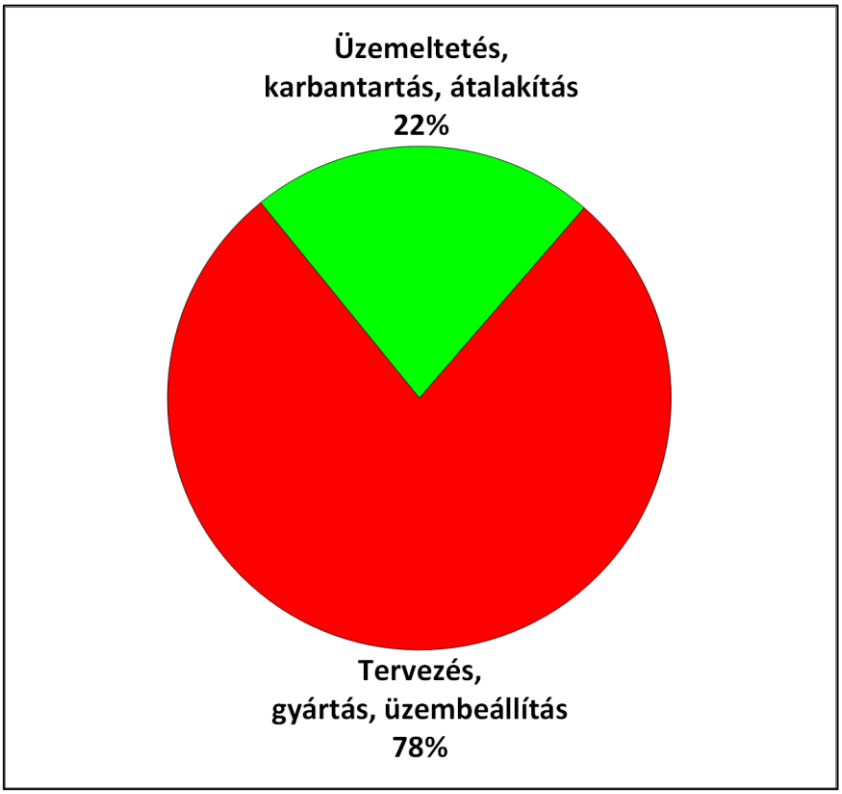


30. ábra: Meghibásodások gyakorisága különböző mérnöki szerkezeti elemekben

Az eddigi elemzések sorozatából eddig csupán egyetlen, de meghatározó gondlatkör maradt ki. A termék melyik életperiódusa az, amelyben a károsodás, a törés „magja” megjelenik a szerkezetben. Ez lehetne a

- tervezés során (a „beépített biztonsági tényező nem elegendő volta),
- a gyártás folyamata, és a ***„tulajdonos váltást”*** követő
- üzemeltetés.

Meglehetősen elgondolkodtató adatok láthatók a 31. ábrán.



31. ábra: Törési okok jellegzetes statisztikái

Az igazán meghökkentő tény az, hogy a kárestek döntő többsége a hibás tervezésre, a nem megfelelő gyártásra és az üzembeállítás körülményeire vezethető vissza, miközben a károk az üzemeltetőnél jelentkeznek! Az *üzemeltetőnek*, az új tulajdonosnak *kell küzdenie* azért, hogy a nála bekövetkezett károkat az előidézőnél, előző tulajdonosnál érvényesítse, hiszen az okok döntő többsége ide vezethető vissza! Ahhoz, hogy ez ténylegesen megvalósulhasson valóban *jól képzett, etikus törvényszéki szakértőkre* van szükség, méghozzá *nagy számban.* E témakörhöz kötődő továbbképzés megoldása a közeljövő egyik alapvető feladata. Ennek legalkalmasabb centrumai azok az „egyetemi székhelyek” lehetnek, ahol az ipar fejlett, ahol egyidejűleg műszaki és jogi képzés is folyik.

A bekövetkezett kárestek, törések statisztikai adatait „műszaki szemmel” áttekintve megállapítható, hogy a törések

- Feszültséggyűjtő helyről indulnak (90%).
- Folyáshatár alatti feszültségeken következnek be.

- Közvetlen kiváltó ok alapvetően a kifáradás (77%), amelyen belül 59% a normál mechanikai fáradás.
- Legveszélyesebbek a hegesztett szerkezetek (33%), ill. a bordákat, hornyokat tartalmazó tengelyek (24%) és a csavarkötések (13%).
- Tervezési, gyártási, ill. üzembeállítási hiányosságokra vezethetők vissza (78%).

Jogi szempontból elemezve a viszonyokat:

- A gyártása során a termék „tulajdonosa" a gyártó, aki „jogügylettel" kapcsolódik a megrendelőhöz, a leendő „üzemeltetőhöz".
- Az üzemeltetés során a „tulajdonos" az üzemeltető, következésképpen a „termék biztonságáért" jogilag felelős.
- A termék *meghibásodása* során a hiba okainak feltárásában, az okozott kár felmérésében, a tulajdonosváltás (gyártó és üzemeltető) miatti felelősségmegoszlás tekintetében a minden tekintetben független „törvényszéki szakértő" megállapításai a mérvadók.
- A hazai viszonylatban a „műszaki hibák és a törvényszéki műszaki tudományok" területén a képzés megoldatlan.

3.2 Terheléspróba - Karbantartás – Periodikus felülvizsgálat

A „termék" legyártását követően a „gyártó" és „üzemeltető" jogügylete tartalmazhat olyan elemet, pontot, amely a tulajdonváltozás feltételeit pl. az átadás helyét tartalmazza. E pontban kerülnek megfogalmazásra azok a feltételek, amelyeket a feleknek teljesíteniük kell. Tekintsünk például egy vegyi folyamat megvalósításához kötődő rendszert, amelyben nyomástartó edények, csővezetékek stb. szerepelnek. Az „üzemeltető" természetesen csak akkor veszi át tulajdonába amikor a „gyártó" a helyszínen bizonyítja, hogy az általa előállított „termék" biztonsága megfelelő. A „megfelelősséget" kritériumrendszerekhez kötik. Ha a „helyszínen felállított" rendszer e kritériumokat teljesíti a „tulajdonosváltás" megtörténik és a továbbiakban minden esetleges hibáért, kárért és következményeiért az „üzemeltető" a felelős. Az átadás-átvétel folyamatának egyik általánosan elfogadott eleme, a *„felállítás, átadás helyén végzett terheléspróba*". Az ekkor alkalmazott terhelések minden esetben meghaladják a tervezésnél figyelembe vett értékeket. Ennek létjogosultsága nem kérdőjelezhető meg, ugyanis mind a tervező, mind pedig a gyártó ezzel igazolja tevékenységének „jóságát", a „tulajdonosváltás" átruházhatóságát.

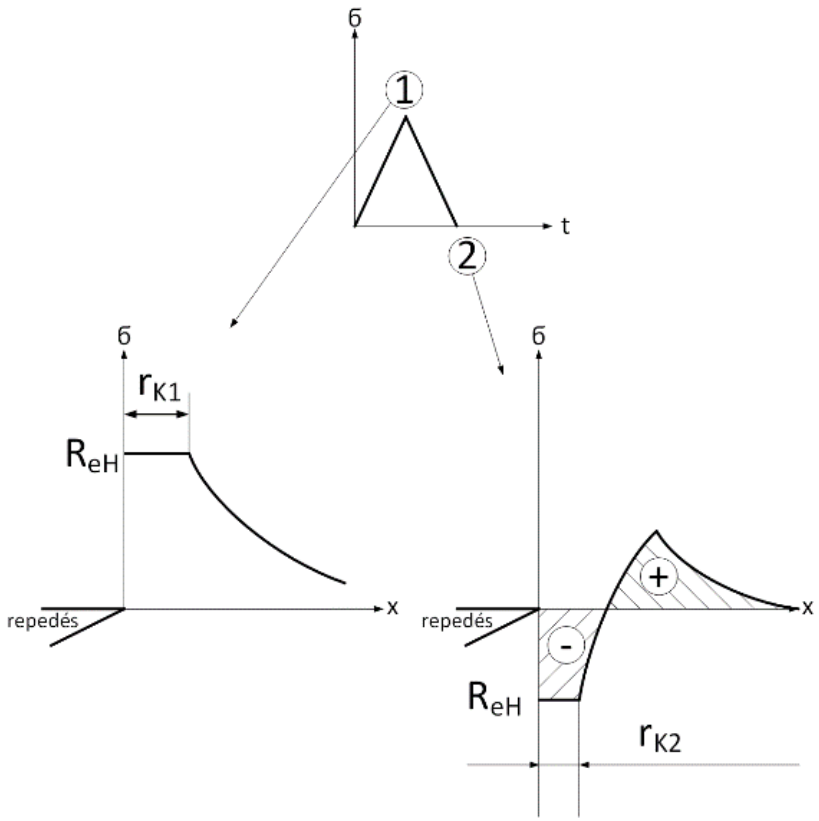
3.2.1 A terheléspróba folyamata, lehetséges műszaki következményei

A *terheléspróba a tulajdonosváltás mérföldköve*, így mindenképpen célszerű elidőzni e lépésnél, és következményeinél.

Csupán felsorolás-szerűen kíséreljük meg áttekinteni a FONTOS lépés előnyeit és hátrányait:

- Előnyök:
  - Kísérletileg igazol(hat)ja mind a tervezés, mind pedig gyártás megfelelőségét.
  - Javít a szerkezet „állapotán" azzal, hogy a lokális feszültségcsúcsok környezetében ébredő feszültségeket csökkenti, ill. esetenként e helyeken a terheléspró-

ba nyomófeszültségeket is hoz létre. Ennek igazolására tekintsük a legveszélyesebb esetet, a repedésszerű hibát. A folyamatot szemlélteti a 32. ábra.



32. ábra: A terheléspróba hatása a repedésszerű hiba környezetében

Amennyiben a szerkezeti elemben gyártás során valamilyen repedésszerű anyaghiba keletkezik, akkor a terhelés növelésével a repedéscsúcs környezetében ébredő feszültség is növekszik. Elérve az anyag folyási határát képlékeny zóna kifejlődése indul meg. Ennek mérete egyenesen arányos lesz a feszültségintenzitási tényezővel és fordítottan arányos az anyag folyási határával, azaz

$$r_{k1} = C\left(\frac{K_I}{R_{eH}}\right)^2. \tag{18}$$

A képlékeny zóna mérete annál nagyobb, minél nagyobb az elemben levő repedés hossza és minél lágyabb anyagból készült az elem. A terhelés növelésével a szerkezetben felhalmozott rugalmas energia is növekszik. A külső terhelést megszüntetve újra egyensúlyi állapot alakul ki a repedés környezetében, következésképpen a repedés csúcsa előtt is. Itt a lokális feszültség csupán $-R_{eH}$ azaz a nyomáshoz tartozó folyási határ lehet. A külső terhelés megszüntetése így a (18) összefüggés szerint $\mathbf{r_{k2}=r_{k1}/4}$ méretű olyan képlékeny zónát hoz létre, amelyben a nyomófeszültség nagysága folyási határral egyezik meg. A repedés csúcsának környezetében viszont egyensúly állt be, következésképpen a maradó feszültségek eloszlása a 32. ábra jobb oldali részén bemutatottak szerint alakul. Mindez egyben a következő dolgokat is igazol:

- a terheléspróba folyamatában „csipeszt tettünk a repedéscsúcsra”,
- a csipesz „szélessége, nagysága” fele annak a képlékeny zónának, amilyen a terheléspróba, a túlterhelés során kialakult,
- a repedéscsúcsban az üzemeltetés során nyomófeszültségek ébredek, így az esetleges repedésterjedést egy, a *folyási határral egyező nyomóterhelés figyelembevételével kell elemezni* (!)
- a tulajdonosváltást követő esetleges terheléspróbák hatását mindezen folyamatok figyelembevételével kell értékelni!

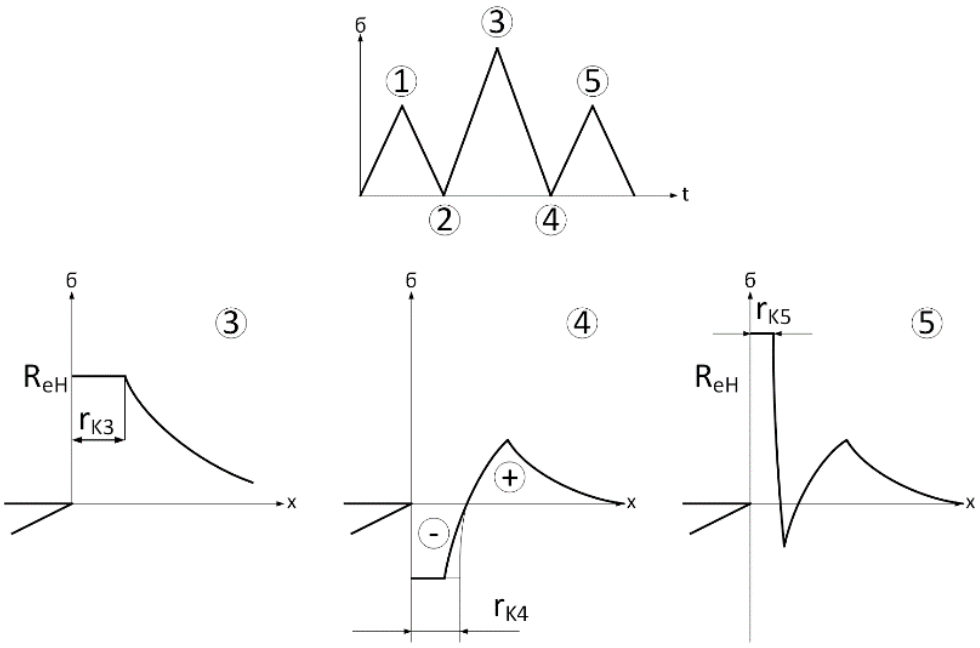
- Hátrányok:
  - A repedés csúcsában, annak környezetében képlékeny alakváltozás miatt az anyag ***ridegedik***. Köztudott, hogy kb. 5%-os hidegalakítás mintegy 20^0C-al emeli az acélok átmeneti hőmérsékletét. Ez pedig a szerkezeti elemek ridegtörési veszélyét növeli.
  - A képlékeny alakítás a rácshibák számát, a diszlokációk sűrűségét növeli, következésképpen teret ad, a kis átmérőjű atomok „gyülekezéséhez”, ami kialakítja az un. ***Cotrell-felhőt***, ami összességében a további képlékeny alakváltozást gátolja. Ugyanilyen okok miatt e helyek un. ***„hidrogéncsapdák”*** is lehetnek, hiszen itt a kis átmérőjű mozgékony hidrogénatomok találkozhatnak, ezzel molekulává egyesülhetnek folyamatosan, növelve a lokális nyomást, végül lokális repedést iniciálhatnak (hidrogénes elridegedést okozva). Ez annál veszélyesebb minél nagyobb az acél (heganyag), ill. a környezet disszociációra képes hidrogéntartalma.

Mivel a terheléspróba nem csupán előnyös hatásokat vált ki, hanem károsakat is, ezért célszerű elemezni azt is, hogy ismételt[1] végrehajtásában az előnyök, vagy a hátrányok szerepe erősödhet? Ehhez kiindulásként tekintsük a 32. ábrán vázolt viszonyokat. Ezen ábrát elemezve a következő megállapításokat tehetjük:

- Amennyiben újból ugyanolyan mértékben megterheltük, mint az első terheléspróba során (azaz ugyanannyi alakváltozási energiát halmoztunk fel a szerkezetben) a repedés csúcsának környezetében ébredő feszültség elérte a folyási határt. Az ok relatíve egyszerű: sem a repedés hossza, következésképpen a feszültségintenzitási tényező, a K nagysága, sem pedig az anyag folyási határa, az R_{eH} nem változott. Ennek kapcsán jogos kérdés az, hogy az előzőkben leírtak igaznak tekinthetők-e? A tényeknél maradva. Az első terheléspróbát követően a repedés csúcsában nyomófeszültségek ébrednek. Ekkor hogyan és miért terjedhet egy bizonyos üzemidőt követően a repedés? – tehető fel az „ellen-kérdés?” Lehetne hivatkozni a korrózióra! Na de minek? Bizonyítsa be, aki úgy gondolja ez egy járható út, azaz a korróziós hatás növeli a repedés hosszát akkor, ha nyomófeszültségek ébrednek. A másik befolyásoló tényező a folyási határ, az R_{eH} alakulása. Kétségtelen tény, hogy bizonyos mértékben változhat e tulajdonság, 10-20%-nál nagyobb mértékben feltételezhetően nem jobban. Ha csökken az R_{eH} értéke, akkor az újabb terheléspróba során egy

[1] Az „ismételt” kifejezés a periodikus vizsgálatok során elvégzett „terheléspróbákra” utal.

újabb képlékeny zóna keletkezik, ami a leterhelés során újból összenyomódik – méghozzá jobban - ha pedig növekszik az R_{eH}, akkor a terhelés során a repedés-csúcsban ébredő feszültség kisebb a folyási határnál, a leterhelést követően pedig egy más méretű, képlékeny zóna, csipesz alakul ki a repedés csúcsában. E gondolatmenettel analóg módon elemezhető a túlterhelés hatása. Ezt a folyamatot szemlélteti a 33. ábra [21].



33. ábra: Túlterhelés hatása a repedés csúcsában ébredő viszonyok alakulására

A 33. ábrán „3”-al jelezett nagyobb terhelés hatására (ugyanolyan hosszúságú repedés, folyási határ esetén) a repedéscsúcs képlékeny alakváltozása nagyobb a szerkezetben felhalmozott nagyobb alakváltozási energia miatt). A terhelést megszüntetve hosszabb lesz az a képlékeny zóna is, amelyben nyomófeszültségek ébrednek. Az újbóli normál terhelés során kialakuló feszültségek eloszlását a 33. ábra jobb oldali része szemlélteti. Az újabb képlékeny alakváltozás újból növeli a diszlokációk sűrűségét és ennek ridegítő, ill. „hidrogéncsapda” hatását.

A termék ***„tulajdonosának változásához”*** kötődő *„terheléspróba”* során a legveszélyesebbnek tartatott gyártási hiba, a repedés csúcsának környezetében lejátszódó folyamatokat tekintve a terheléspróba hatása a mindennapi gyakorlati szempontból következő módon összegezhető:

- A „termék” felállítási helyén (pl. nyomáspróba) hasznos, mindenképpen szükséges, a rendszer biztonságát növeli.
- Ezt követően szükség lenne egy alapos roncsolásmentes ellenőrzésre annak érdekében, hogy az indulási a „0-állapot” kellően definiálható legyen. Ez sajnos a jelenlegi gyakorlatban hiányzik így a tulajdonosváltáshoz kötődő folyamat nyitott. Az ok:
  - a terheléspróba előtt a „gyártó” a tulajdonos,
  - a sikeres terheléspróba után a tulajdonos az „üzemeltető” lesz,

- a sikeres terheléspróba következményei „ismeretlenek, nem dokumentáltak” körültekintő roncsolásmentes vizsgálatokkal.

A terheléspróbát követő roncsolásmentes ellenőrzés és az eredmények értékelése a „gyártó” és „üzemeltető” „jogügyletének” fontos eleme kell, hogy legyen a jövőben.

A költségeket akár még az „üzemeltető” is vállalhatja, hiszen

- a „termék” „0-állapota” kellően definiált, így megbízható „élettartamgazdálkodás” valósítható meg,
- a periodikus ellenőrzések során újabb „terheléspróba” elvégzése indokolatlan mindaddig amíg a „termék” átalakítására (különös tekintettel a hegesztéssel történő javításra) nem kerül sor, azaz a periodikus terheléspróbák költségei megtakaríthatók. Különösen érdekes problémát jelenthet pl. a nagytérfogatú (1000 m^3-es) tartályok hidraulikus nyomáspróbája, mivel az 1000 tonna víztömeg a lábazatot, annak környezetét is károsíthatja!

3.3 Karbantartás - Periodikus felülvizsgálat

Amint a „termék” tulajdonjoga a „gyártótól” átkerült az „üzemeltetőhöz”, annak biztonságáért jogi szempontból az üzemeltető a felelős. Így saját jól felfogott érdeke a „termék”, a rendszer biztonságának fenntartása. Az ok kettős:

- ha rendszer működik, profitot termel,
- ha a rendszer nem termel, nincs profit, sőt még kiadások is jelentkeznek.

Ebből adódik az a nyilvánvaló tény, hogy a rendszerek állapotához kötődő tevékenységek jelentik a termelő vállalatok *„profit-centrumait”*. Az itt folytatott tevékenységek minősége a piaci verseny meghatározója. Miért? – kérdezhetné valaki. Az ok kézenfekvő. Az alapanyag beszerzése, a késztermék értékesítése ugyanazon piaci feltételek között valósul meg. A gyártás színvonala közel azonos, hiszen, ha az gazdaságtalanná válik, akkor amúgy is tönkremegy, kihullik a piacról az adott vállalat.

A vállalatok „profit-centrumai” tehát egyszerűen a termelő ***rendszerek biztonságára*** redukálódnak, *de nem miden áron*!! És itt térhetünk vissza a bevezető részben már hangsúlyozott **biztonság-megbízhatóság-kockázat** gondolatsorhoz. Az üzemeltető eredendő érdeke úgy fogalmazható meg, hogy célja *„a rendszer megkívánt biztonsági szintjének biztosítása minimális költségekkel”*. Ennek eléréséhez figyelembe kell venni, hogy rendszereiben

- **folyamatok** zajlanak, mennek végbe, és mindezek a
- rendszer **elemeiben** valósulnak meg.

A vállalti profit-centrum akkor működik jól, biztonságosan, ha mind az *elemek*, mind pedig a *folyamatok* biztonsága a *„elvárt - szükséges szintű”*. Az idézőjelben említett kifejezések a mindenkori vállalatvezetés sarkalatos csomópontjai. Közel 100%-os biztonság elérhető (számos területen, pl. nukleáris erőműveknél ez követelmény), no de ez mennyibe is kerül?

A biztonság szükséges szintjének eléréséhez az üzemeltető az alábbi két eszközrendszert veheti igénybe:

- a rendszerében végbemenő folyamatok biztonságának fenntartásához a rendszeres **karbantartást**, és
- a rendszer időközönkénti leállításával az elemek felülvizsgálatát.

Mindkét lehetőség kihasználása szükségszerű, de mindegyik mögött jelentős pénzösszegek húzód(hat)nak meg. Ezt a folyamatok típusa, a termelésben felhasznált eszközrendszere határozza meg.

A mindenkori karbantartási és felülvizsgálati stratégiák, a mindekori gondolkodásmódot tükrözik és az adott periódus eszközrendszerét, ismeretanyagát használják. Napjaink gondolkodásmódja egyesíti a műszaki és gazdasági megfontolásokat a

- Megbízhatóság alapú karbantartási stratégiában (Reliabilty Centred Maintenance - RCM) és a
- Kockázat alapú felülvizsgálatban (Risk Based Inspection – RBI).

3.3.1 Megbízhatóság alapú karbantartási (RCM) stratégia lényeges elemei

A különböző iparágak eltérő szegmenseiben alkalmazott karbantartási folyamatok előírásai, eszközei természetesen az iparági sajátosságokat hordozzák magukban és adott történelmi korszak színvonalán valósulnak meg. Igazán jelentős fejlődés a légiközlekedés általánossá válásával indult meg, mivel a repülőgépek karbantartását eltérő gazdasági állapotokkal rendelkező országokban kellett ugyanazon a színvonalon elvégezni. Az egységesítésben a Douglas cég elévülhetetlen szerepet játszott az 1930-as évektől a DC3-típusú repülőgépek (mint eszközök) karbantartási módszerének kidolgozásával. Az 1950-es évek elején e gondolkodásmód a CMS-be (Condition Monitoring and Simulation) - azaz a „állapotellenőrzés és szimuláció” területére bővült, 1968-ban a már a DC-3 gyártóira kiterjesztette e szemlélet alkalmazását az USA-ban létrejött „Karbantartás Irányító Hatóság” (Maintenance Steering Committee), az MSG-1. Az MSG-2 már 1970-ben kidolgozta a döntéshozatali struktúra logikai rendszerét, majd 1980-tól az MSG-3 azt a dokumentumot, amelyet a mai napig használnak repülőgépgyártók és üzemeltetők egyaránt a karbantartási eljárások tervezésénél (Airline/Manufacturer Miantenance Program Planning Document”[22].

A megbízhatóság alapú karbantartás, az **RCM** valójában FOLYAMAT-szemléletű. Másképpen megfogalmazva; kiinduló szemléletmódja az, hogy az adott rendszerben *végmenő folyamatok milyen feltételrendszer mellett tarthatók fenn megkövetelt biztonsági szinten.* Ennek érdekében mikor, mit és hogyan kell tenni, azaz a „mit kell tenni”-vel foglalkozik a karbantartás. Egymástól telesen független iparágakban alkalmazott karbantartási előírások közös jellemzője az, hogy az alábbi 7 kérdés megválaszolásán nyugszik:

1. Mi a berendezés/rendszer funkciója és az erre vonatkozó működési standard?
2. Hogyan „hibásodhatnak[2]” meg ezek a funkciók?
3. Mi okozhatja a funkció „meghibásodását”?

[2] A funkció „meghibásodása” arra utal, hogy nem a tervezett folyamatok mennek végbe, azaz a rendszer nem azt a célt valósítja meg amire megtervezték.

4. Mi történik a „meghibásodás” esetén?
5. Milyen jellegű a „meghibásodás” következménye?
6. Mit lehet tenni a „meghibásodás” előrejelzése vagy megelőzése érdekében?
7. Mit kell tenni, ha nem található megfelelő megelőző intézkedés?

Amikor egy karbantartási eljáráscsomag kidolgozása a cél, akkor a következő – ugyancsak 7 – témakörre kell fókuszálni:

1. A rendszer pontos definiálása és a rendszerrel kapcsolatos információk összegyűjtése
2. A rendszerhez nem kapcsolódó részek definiálása
3. A rendszer elemeinek kapcsolódása (blokkdiagram)
4. A rendszer funkciói és e funkciók meghibásodási lehetőségei, a biztonsági funkciók
5. A meghibásodási mechanizmusok és következmények (FMEA – Failure mode and effect analysis)
6. A rendszer funkcióinak rangsorolása (LTA -Logic tree analysis) a különböző meghibásodási lehetőségek függvényében
7. Karbantartási eljárás kiválasztása: azon módszer kiválasztása, amely az adott lehetséges működési hibát (funkció meghibásodást) hatékonyan megakadályozza.

A 7 kérdésre, vagy az utóbbi 7 pontra csupán rápillantva is teljesen egyértelmű, hogy

- a karbantartási előírások „rendszer-specifikusak” azaz a konkrét tennivalókat mindig és mindenkor a kiválasztott rendszer szintjén kell megtenni, megválaszolni,
- a karbantartási rendszerek kidolgozása mindig és mindenhol csak team-munkával lehetséges.

Ez utóbbi fontosságát érzékeltesse pl. egy finomítói folyamatban a biztonsági szelep rövidebb – hosszabb ideig bekövetkező hibája és annak lehetséges következményeinek elemzése. Miképpen hathat e „funkció hiba” a vegyi folyamat stabilitására, paramétereinek változására, az irányítástechnikai rendszer működésére és a folyamat „hardver-eleminek” (csővezetékek, nyomástartó edények, egyéb tartozékok, nyomáshatárolók stb.) biztonságára. Már az igen egyszerű példa is meggyőző módon igazolhatta a különböző ismeretekkel rendelkező „team-munka” szükségességét.

A karbantartási folyamat tervezésénél is alkalmazható a „kockázatalapú szemlélet”. Ennek lényege az, hogy a rendszer funkcióit rangsorolva (a funkció esteleges meghibásodásának következményeit is figyelembe véve) a szükséges karbantartások periódusa változhat, avagy kevésbé hatékony, kisebb költségekkel járó, módszerek kerülnek bevezetésre.

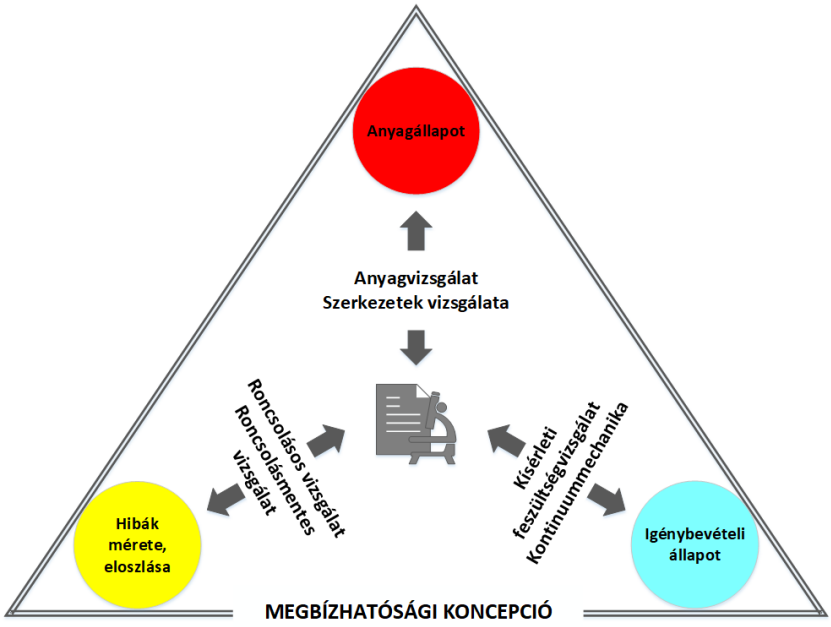
A RCM általános elveivel, az iparági sajátosságokkal, a kockázatok értékelési módszereivel számos irodalom részletesen is foglalkozik [23-33]. Ennek egyik eleme a földi és légi járművek RCM alapú kezeléséhez kötődő ajánlott módszereket összefoglaló SAE JA 1012 dokumentum, amely 2002-ben látott napvilágot [34].

3.3.2 Kockázat alapú felülvizsgálat (RBI – Risk Based Inspection)

3.3.2.1 Szerkezetek megbízhatósága, integritása

Amíg a karbantartás a rendszerekben végbemenő folyamatok stabilitására, biztonságára összpontosítja a figyelmet, addig a periodikus felülvizsgálat a rendszer elemeinek megbízhatóságával foglalkozik. A „folyamatok + a rendszer elemeinek biztonsága” együttesen az „üzemeltető biztonságát”, a vállalati *„profit- centrum működésének eredményességét”* jellemzi.

Mit is jelent a rendszer elemeinek biztonsága? Mi is a teendő? Ez nagyon egyszerűen belátható, a 34. ábrára pillantva.



34. ábra: A szerkezeti elemek megbízhatósága, integritása

Ahhoz, hogy egy üzemelő rendszer mindekori megbízhatósága, üzemeltetésre való alkalmassága, azaz ***integritása*** felmérhető legyen, az ábra értelmében a következőket kell tenni:

- követni kell a rendszerbe épített anyagok méretezés szempontjából meghatározó tulajdonságainak változását, öregedését (nem csupán az emberi test öregszik!),
- tudni és detektálni kell a rendszer elemeiben előforduló hibák (geometriai- és anyaghibák) méreteit és eloszlását, valamint az elemekben
- üzemeltetés során kialakuló mezőket (hőmérsékleti, feszültségi, alakváltozási, mágneses stb.), amelyek az anyagok károsodását, a hibák kialakulását, esetleges növekedését okozzák.

Az előzőkből következően a rendszer elemeinek mindekori megbízhatósága egzakt módon csak a következő tudományterületek együttes ismeretével mérhető fel:

- anyagtudomány,
- roncsolásmentes anyagvizsgálat,
- kontinuummechanikai ismeretek.

A szerkezetek anyagainak öregedése, annak mechanizmusa az anyag és az üzemeltetés paramétereinek, körülményeinek kölcsönhatása következtében valósul meg. Mi mindenre lehet számítani? Ezekből ragad ki néhány lehetőséget a 35. ábra.

35. ábra: Szerkezetek üzemeltetése során előfordulható károsodási folyamatok.

Az anyag mindenkori állapota, az öregedés mértéke közvetlen (a rendszerbe telepített próbatestekkel), vagy közvetett módszerekkel több-kevesebb biztonsággal felmérhető. Napjaink egyik kutatási területe az anyagkárosodási folyamatok roncsolásmentes vizsgálati módszerekkel történő eljárásainak fejlesztése. Az ábrán „piros színnel” a legveszélyesebb, az anyagfolytonossági, a repedésszerű hiba lett jelezve. Ez ugyanis az üzemeltetési körülmények között növekedhet, ami esetlegesen töréshez, katasztrófához vezethet.

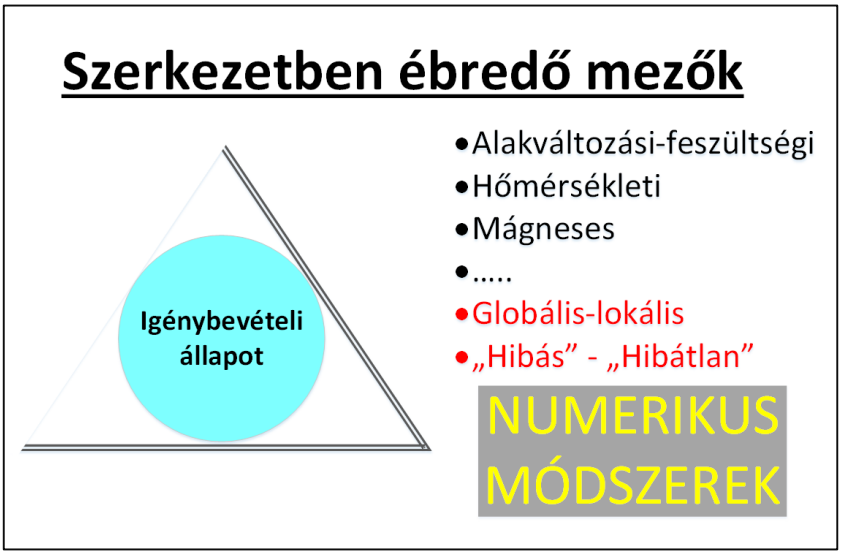
A megbízhatóság második sarokpontja a rendszerben vagy már eleve, többnyire a gyártás során bevitt geometriai és anyagfolytonossági hibák. Ezek méretei az üzemeltetés során növekedhetnek.

36. ábra: Az üzemelő rendszerek lehetséges „hibái”

A lehetséges „hibák” roncsolásmentes vizsgálati módszerekkel detektálhatók. Ezek kiválasztásánál, a vizsgálatokat elvégző szemmellyel szembeni elvárásokat, követelményeket szabvá-

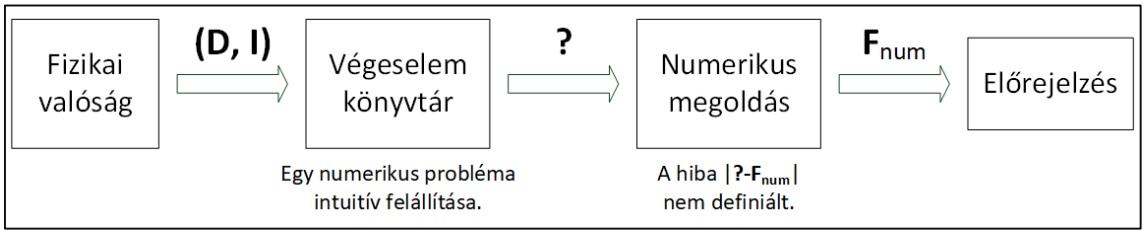
nyos előírások alapján tehetjük meg. Arról azonban sohasem feledkezzünk meg, hogy a cél nem a legkisebb méretű hiba detektálása, hanem a biztonságot befolyásoló hibaméret „üzembiztos” kimutatása! A hibák hatásának szimulálására, értékelésére szabványosított eljárások, módszerek állnak rendelkezésre.

A szerkezeti elemek megbízhatóságának mindenkori felméréséhez direkt módon kötődik a bennük kialakuló mezők ismerte, szimulálása.



37. ábra: Az üzemelő rendszerekben kialakuló „mezők”

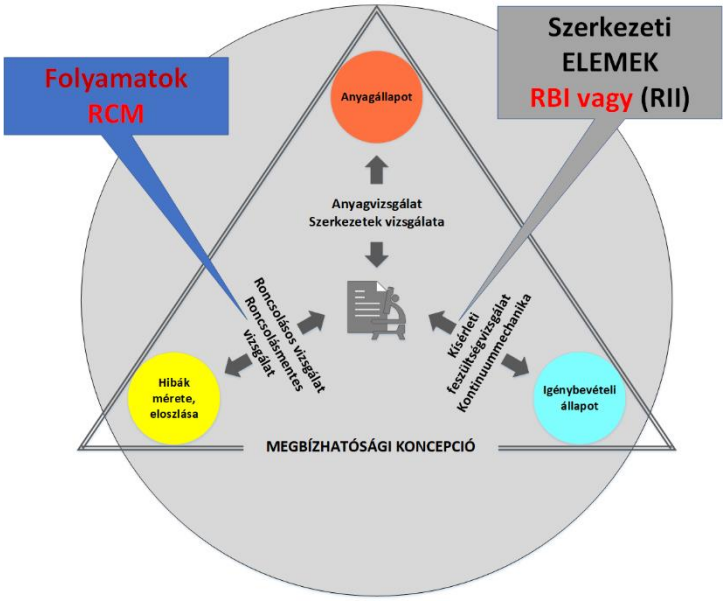
Ezek szimulálására különböző modellek (végeselemes és peremelemes) és – többnyire – numerikus eljárások állnak rendelkezésre. A „modellek” kapcsán már említésre kerültek azok a bizonytalanságok, amelyeket ezek gyakorlati problémák megoldásához magukban hordoznak. Ez most tovább bővül azzal, hogy választ kell adni arra is, ami a numerikus számítási eljárásokból következik, azaz a számított értékek mennyire pontosak, mennyire tekinthetők pontosnak. Erre hívja fel a figyelmet 38. ábra.



38. ábra: A fizikai valóságot visszatükrözni akaró modell + a használt numerikus eljárás szerepe a „mezők” értékeinek számításánál

A 35.-38. ábrák kapcsán talán érzékeltetni lehetett azt a komplex ismerethalmazt, ami a szerkezetek mindenkori megbízhatóságának felméréséhez kötődik. Annak mérlegelése, érzékelése sem jelenthet különösebb gondot, hogy mindezek végrehajtása mögött egyrészt „pénz” húzódik meg, másrészt annak mérlegelése is, hogy „mennyi pénzt” használunk fel. Másképpen fogalmazva, értékarányos befektetést KELL tervezni a MEGBIZHATÓSÁG felmérése (felülvizsgálat) során. A 34. ábrán vázolt rendszerekben lejátszódó FOLYAMATOK biztonsága az

RCM ad garanciát, a szerkezeti elem megbízhatóságára pedig a periodikus felülvizsgálat. Ezt igyekszik hangsúlyozni (egyben sulykolni) a 39. ábra.

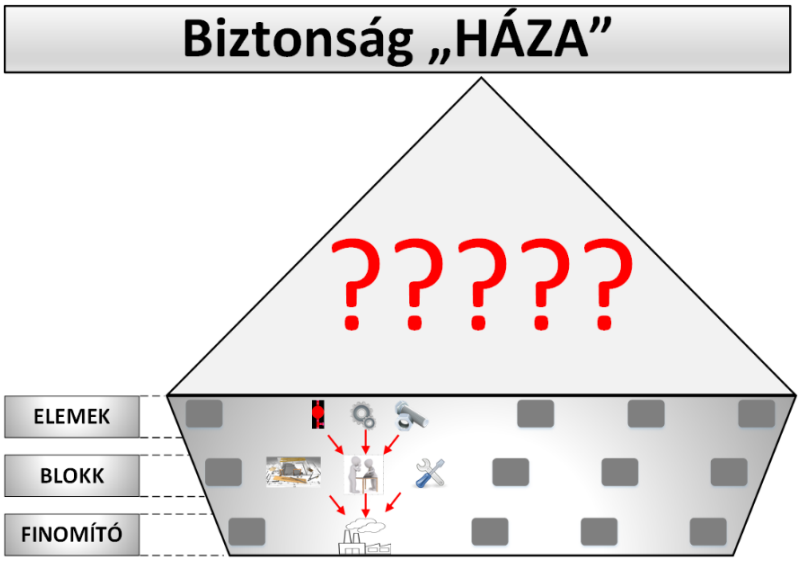


39. ábra: Az üzemelő rendszerek biztonságának alapsémája, a vállalati „profit-centrum" struktúrája

A 39. ábrán vázolt biztonsági alapséma részleteinek kifejtésében az alapkérdés az, hogy miképpen és hogyan kapcsolódhatnak a „pénzügyi" (gazdasági) és a biztonságot meghatározó műszaki elemek.

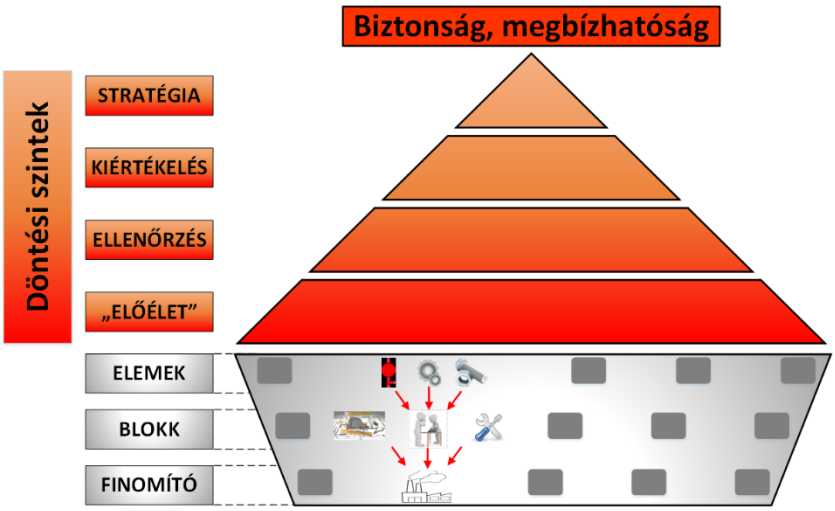
3.3.2.2 A „biztonság háza", ennek struktúrája

Ahhoz, hogy milyen lehetőségei vannak az „üzemeltetőnek" a „biztonság elvárt szintjének" megteremtésére, célszerű áttekinteni azt, hogy miképpen is építhető fel a „biztonság háza". E dilemmát érzékelteti a 40. ábra.



40. ábra: A „biztonság háza"

Példának tekintsünk egy olajfinomítót azzal a megjegyzéssel, hogy bármilyen más rendszer neve is szerepelhetne pl. gépkocsi, erőmű stb. A rendszer alrendszerekre bontható, pl. blokkokra (a gépkocsinál; kormányszerkezet, fékrendszer…). Az egyes alrendszerek elemeket tartalmaznak (csővezetékszakaszok, biztonsági szelep/szelepek, nyomástartó edények ...). Az evidencia, hogy a *„biztonság házának alapja az elemek biztonsága”* a cél pedig a rendszer biztonsága. Ahhoz miképpen juthatunk el az alaptól a „csúcsig”, különböző szintű döntéseket kell meghozni. Ezt érzékelteti a 41. ábra.



41. ábra: A „biztonság házának alapstruktúrája

Az biztosan nem kerülhető meg, hogy a rendszer elemein, azok egyikén-másikán ne végezzenek méréseket, ellenőrzéseket. Ennek kapcsán merülnek fel azok a jogos kérdések, amelyeket a 42. ábra szemléltet.

42. ábra: Az ellenőrzés stratégai kérdései

Minden egyes mérés, ellenőrzés kapcsán ugyanis fel kell tenni a következő kérdéseket:

- A kiválasztott „elem” melyik részét, területét KELL ellenőrizni? Ezt senki se gondolja egyszerű döntésnek! Gondoljunk pl. a 43. ábrán látható 30.000 m^3-es tárolótartályra. Ez is egy eleme egy lehetséges rendszernek!
- Mit kell figyelni, mit kell ellenőrizni, mit kell mérni, milyen típusú károsodási nyomokat keressünk?

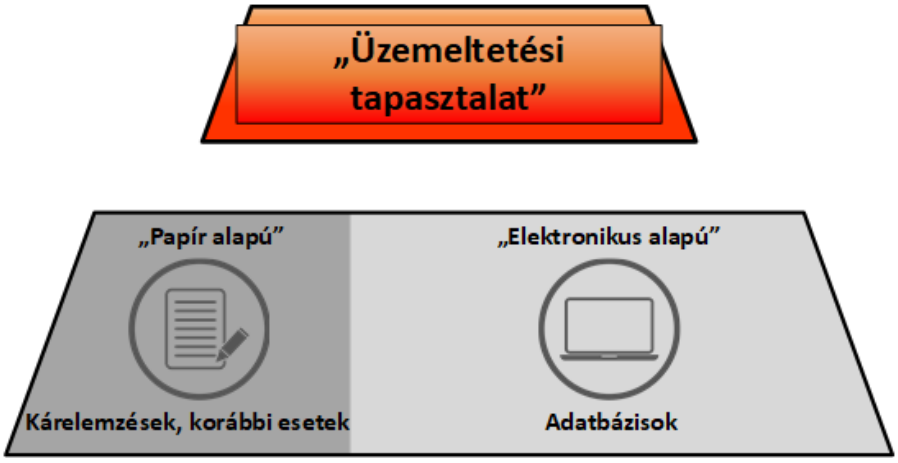
- Milyen szakemberre van szükség? Kiemelkedő specialistára? Jól képzett szakemberre?
- Milyen periódusonként végezzük az ellenőrzéseket, felülvizsgálatokat?

43. ábra: Egy 30.000 m3-es atmoszférikus tartály

Azt nem kell külön hangsúlyozni, hogy az előzőkben feltett négy kérdés megválaszolása mögött minden esteben a „pénz” és annak legkülönbözőbb összegei húzódnak meg! Azaz újból a „profitcentrum” jelenhet meg „lelki-szemeink előtt”! Az elvégzett mérések eredményeit viszont éppen a vizsgált rendszerelem megbízhatóságának megítélése szempontjából értékelni kell. Ez történhet szakértő vagy szakértői rendszerek, szoftvercsomagok használatával. Ez utóbbiak természetesen több szakértő ismerethalmazát szintetizálva tartalmazzák. Ezekre utal a 44. ábra.

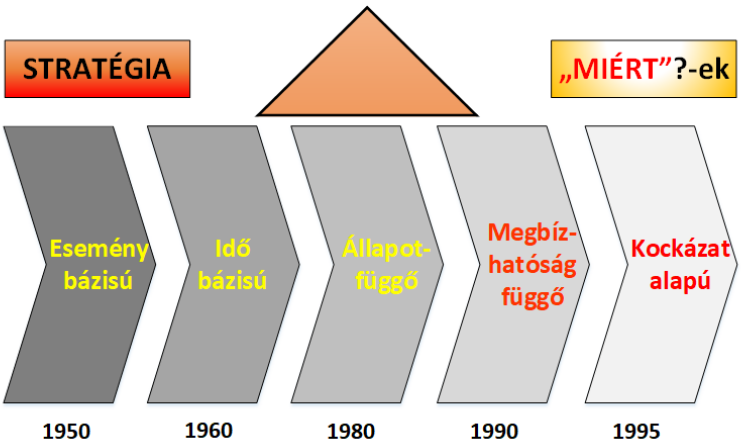
44. ábra: A felülvizsgálat során kapott eredmények kiértékelési lehetőségei

Az újból nem lehet kétséges, hogy a „szakértő” – „szakértői rendszerek” dilemma újból felveti az anyagi kérdést is. A biztonság házának felépítésében nyilvánvalóan nem maradhatnak ki a rendszer korábbi üzemeltetési tapasztalatai, ezek értékelése. Hogy ezek milyen formában állnak az üzemeltető rendelkezésére, az más kérdés. A régebben épített elemeknél többnyire „papír-formátumban”, az újabbaknál már „elektronikusan, adatbázisokba rendezve”. Ezt szemlélteti a 45 ábra.



45. ábra: Az „üzemeltetési tapasztalatok” helye, szerepe a „biztonság házában”

A „biztonság házával” kapcsolatban eddig csupán az „állandó” elemekkel foglalkoztunk. Ezeket mindig, mindenhol az adott korszak műszaki színvonalán el lehet, el kell végezni egy-egy periodikus felülvizsgálat alkalmával. Nem estt szó azonban a stratégiáról! Ez az egyetlen olyan eleme a rendszernek, amelyik változik, amelyeiket az adott történelmi kor generálja. Mivel pedig a „stratégia” az, amelyik a gondolkodásmódot irányítja, szerepe - úgy is mondhatjuk – meghatározó. A felülvizsgálati/karbantartási stratégiák egymásutániságát sorolja fel a 46. ábra. A „felülvizsgálat” és „karbantartás” kifejezés értelmezése kapcsán térjünk vissza a 39. ábrára. A *„karbantartás” fogalma* alatt a továbbiakban azon tevékenységek összességét értjük, amelyek az adott rendszerben *tervezett folyamatok* biztonságos megvalósítását szolgálják. A *„felülvizsgálat” fogalma* alatt pedig azon tevékenységek összességét értjük, amelyek az adott rendszer *elemeinek elvárt biztonsági szintjét garantálják*. Sajnos a két kifejezés, a karbantartás és felülvizsgálat nagyon gyakran keveredik a mindennapi életben.



46. ábra: A periodikus felülvizsgálat történeti egymásutánisága

Az ábrán látható sorrendiség természetesen nem véletlenszerű. Ezt mindig az adott történelmi és műszaki-gazdasági háttere determinálja. Ennek megfelelően az *„eseménybázisú”* szemlélet lényege az, hogy „valami történt és ezt ki kell küszöbölni”! E szemléletet a II. Világháború utáni állapotok hozták létre. Az *„idő-bázisú”* szemlélet „szülő-atyja” az 1950-es évek politikai szemlélete, az „x-éves tervek” gondolkodásmódja volt. A gazdasági viszonyok stabilizá-

lódásával párhuzamosan elindult a mérő, megfigyelő rendszerek műszerfejlesztése. Ennek eredményeként egyre több területen jelentek meg az üzemi állapotot regisztráló rendszerek (érzékelők, vonalírók, oszcilloszkópok, zajmérő eszközök stb.). Ezen eszközök felhasználásával születtek az „*állapotfüggő stratégiák*". A „stratégiák" kifejezés egyaránt vonatkozhat a rendszerben végbemenő folyamatok fenntartására és a rendszer elemeinek periodikus felülvizsgálatára. Ezek bevezetése teljesen új gondolkodásmódot iniciált. Ugyanis a rendszer egyes elemeinek „megfigyelésével" a felülvizsgálat időpontja tervezhetővé vált, a leggyengébb elemek fejlesztésének szükségessége pedig „kibukott". E rendszer hiányossága (mai szemmel nézve) az volt, hogy az „állapot" -megfigyelő rendszere nem tartalmazott olyan elemeket, amelyekbe be lett volna építve egyrészt a megfigyelt paraméter „limitje" és ezt elérve a további üzemeltethetőséget szabályozó, irányító logikai és vezérlő rendszer. A mikroelektronika, a számítástechnika széleskörű térhódításával az 1990-es években a „megbízhatóság függő" szemlélet robbanásszerű elterjedése indult meg. Ennek oka egyrészt a rendszerek „határállapotainak" szimulálhatósága a legkülönbözőbb üzemi feltételek között, azaz a „mi várható akkor, ha…" kérdések sorozatának megválaszolása. A másik oka e szemléletmód térhódításának; a megbízható minőségű mikroelektronika eszközök célirányos fejleszthetősége és tömegszerű gyárthatósága. Az azonban e szemléletnek is sajátossága volt, hogy a „stratégiában" közvetlen módon nem jelent meg a „pénz funkciója", azaz döntéshozatalban a „mibe kerül ez vagy az …" csupán közvetve jelenhetett meg. A korábban alkalmazott, és bevált „periodikus felülvizsgálati stratégiákban" igazi áttörést a nagy állami rendszerek privatizációja indította el. Ebben meghatározó szerep jutott a Margaret Thatchernek (1925-2013), aki 1979 és 1990 között az Egyesült Királyság miniszterelnöke volt, akit a történelem egyszerűen „Vaslady"-ként becéz. Az állami rendszerek privatizációja meglehetősen nagy erőforrásokat követel, a befektető pedig látni akarja azt, hogy a befektetett tőkéje mikor és hogyan térülhet meg. E tény, e gondolkodásmód indította el a kockázatalapú gondolkodásmód alkalmazását a műszaki életben is. Mivel a hozzá kapcsolódó erőforrások súlya a gazdasági élet alakulásában, formálásában érzékelhető volt akár egy ország GDP szintjén is, az ipari alkalmazások szabványosítási törekvései is megindultak. Ennek egyik legeklatánsabb példája az az API 581, a Risk Based Inspection Base Resource Document összeállítás, amelynek az első hivatalos változata már 2000-ben publikálásra került [35]. E dokumentumra é elkészítésének történetére még visszatérünk.

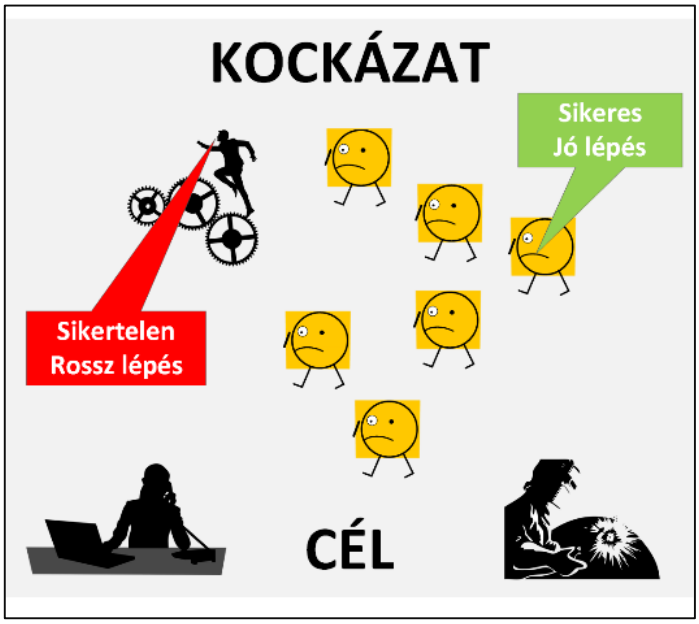
A *kockázatalapú* felülvizsgálati stratégia alapgondolat az, hogy a rendszer elemeit a *meghibásodásuk valószínűségének* és *következményének szorzatával* vesszük figyelembe. Mielőtt a műszaki életben történő alkalmazási példák kerülnének bemutatásra, célszerű áttekinteni a kockázatalapú szemlélet alapgondolatait, alapismereteit, lehetséges alkalmazási területeit, módszertanát.

4 Kockázatalapú szemlélet alapjai

4.1 Kockázat fogalma, értelemzése

Mindennapjainkban széles körben használjuk a következő -szinonimának tűnő – kifejezéseket: kockázat, kockázatos, rizikó, rizikós, veszélyes stb. De mikor, mire mondjuk azt, hogy „kockázatos”? Magára az életre, a házasságra, egy kapcsolatra, télen az utcára való kilépésre, a közlekedésre, a hegymászásra, egy döntésre, egy „szektába való belépésre, valahonnan való leugrásra, pénzügyi befektetéseinkre…”? A felsorolást csak abba lehet hagyni, de nem befejezni, ha a kockázatos *cselekvéseket* szeretnénk folytatni. Az előző mondat aláhúzott szava fejezi ki a lényeget, mert cselekvések mögött mindig valamilyen ***folyamat*** húzódik meg! A magyar értelemző kéziszótár szerint „*a kockázat valamely cselekvéssel járó* ***veszély, veszteség*** *lehetősége”.* A fenti megfogalmazás két egymás mellett látható kiemelt szava két különböző mennyiséget, fogalmat takar. Az első a *„veszély”* valami bekövetkezésének lehetőségét, *valószínűségét*, a második a *„veszteség”* pedig többnyire mérhető, azaz dimenzióval is ellátható *mennyiség*. Kissé eltérő az a fogalom, amelyik a „veszély”-től és a „kudarc”-tól való egyidejű elhatárolásra szolgáló kifejezésnek tekinti a „kockázat” fogalmát. Így a kockázatot a „*lehetséges kudarc”* kifejezéssel azonosítja. Ebben a megfogalmazásban azonban nem jelenik meg eklatánsan az a két fogalom (veszély és veszteség), ami a gondolkodásmód alapvető lényege.

Ahhoz, hogy mindenki számára teljes egészében érthető és minden helyzetben alkalmazható lehessen a „kockázatalapú szemléletmód”, tekintsünk a 47. ábrára.



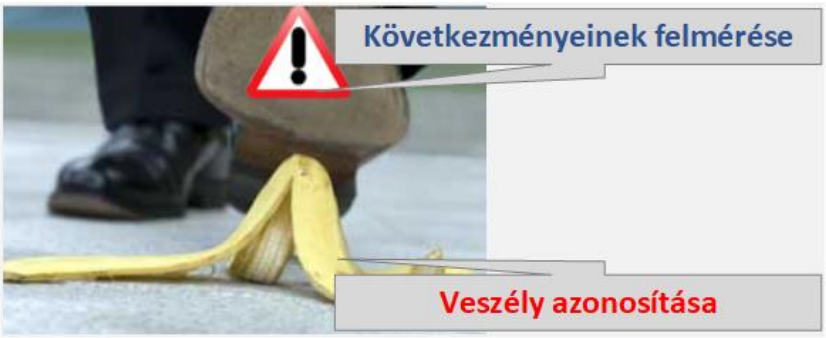
47. ábra: A kockázatalapú szemlélet lényege

Az első dolog mindig és mindenkor a cél megfogalmazása. Az ábra egy kiváló titkárnő, vagy a jó hegesztő keresését jelölte célként. Ennek eléréséhez elindul egy cselekvés, ***folyamat***. A cselekvés lépések folyamata. Minden egyes lépés sikeres megtételénél valamilyen veszély léphet fel. Ez valamilyen valószínűséggel be is következhet, így a lépés sikertelen lesz. Ha viszont a sikertelen lépés nem következik be, akkor tovább lehetett lépni és a lépés sikeres. A

sikeres lépések sorozatával viszont elérhető a kitűzött cél. Az pedig teljesen természetes, hogy a különböző lépéseket eltérő veszélyek fenyegethetik.

4.2 Kockázat kezelésének általános elvei

Teljesen általánosan az mondható, hogy a cél elérése érdekében kitűzésre került az a „tér”, amelyben a lépések tervezésére kerül sor, és amelyben veszélyek léteznek. Erre utal szemléletesem a 48. ábra, amelyből ösztönszerűen következik két gondolatkör. A *„veszély azonosítása”* és a *várható „következmények felmérése”*



48. ábra: A kockázatalapú gondolkodás elemei: azonosítás, következmény felmérése

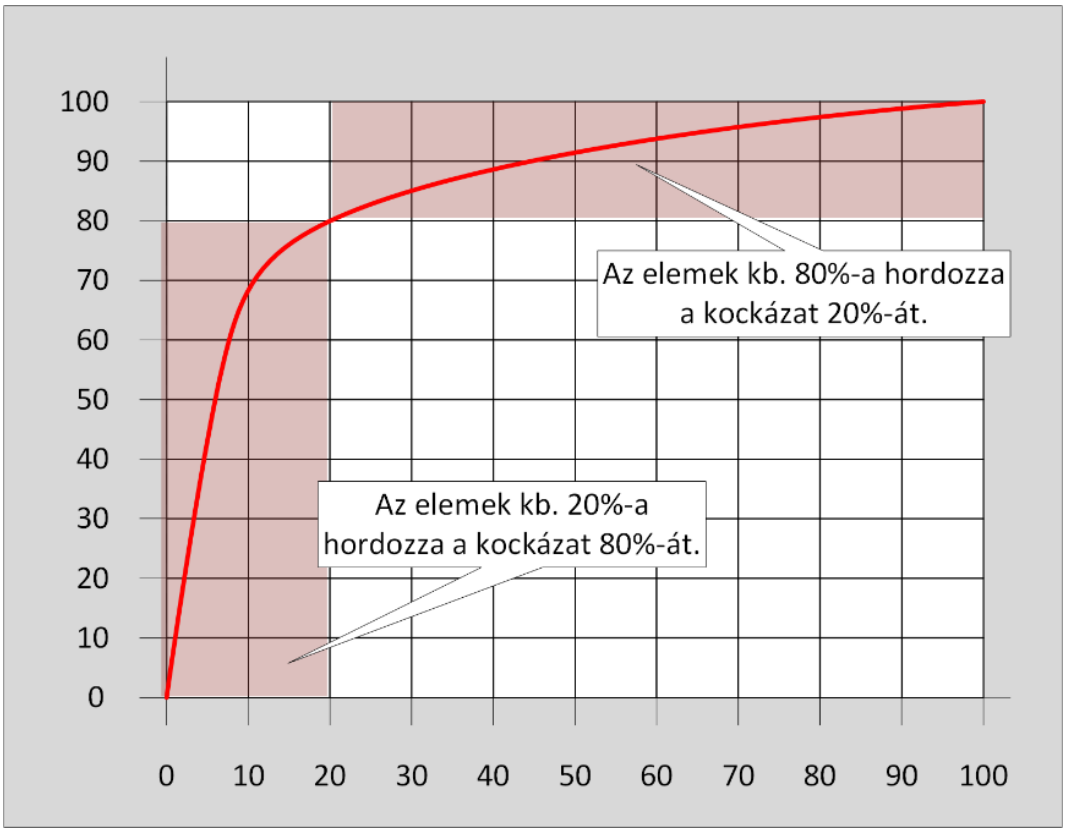
Amennyiben a mindennapi élet alapvető gondolkodásmódjához térünk vissza, akkor a *„hogyan kerüljem el ezt a veszélyt”* kérdés vetődik fel. Így van ez minden területen, legyen az bármilyen szofisztikált témakör is a robotok mozgásától a Marsra-szállás bármelyik pillanatáig. Ennek, azaz a *kockázat kezelésének* fontosságát érzékelteti a 49. ábra egy nagyon egyszerű esetet szemléltetve.

49. ábra: A kockázatalapú gondolkodás elemei: kockázat kezelése

Azt az általánosnak tekinthető tényt azonban tudomásul kell venni, hogy a „tér”-ként jellemzett „tartomány elemei” nem azonos „kockázatot hordoznak”, sőt – mint ahogyan azt Wilfried Fritz Pareto[3] (1848 – 1923) a jövedelemelosztás kapcsán megfogalmazta – érvényesül a 80/20

[3] **Vilfredo Federico Domaso Pareto** Párizsban született olasz állampolgárként és Svájcban hunyt el. Életpályája tág szakmai határok között mozgott: építészmérnök, szociológus, közgazdász, politikus és filozófus. Ő fogalmazta meg először, hogy a vagyonok 80%-át a lakosság 20%-a birtokolja. Ugyancsak nevéhez fűződik Pareto-eloszlás értelmezése.

törvény, azaz az elemek 20%-a hordozza a kockázatok 80%-át, avagy az elemek 80%-a mindössze a kockázatok 20%-a hordozza. Hogy ez mennyire is jogos feltételezés? Gondoljunk testünkre, szerveinkre, azok funkciójára és életünk kapcsolatára!

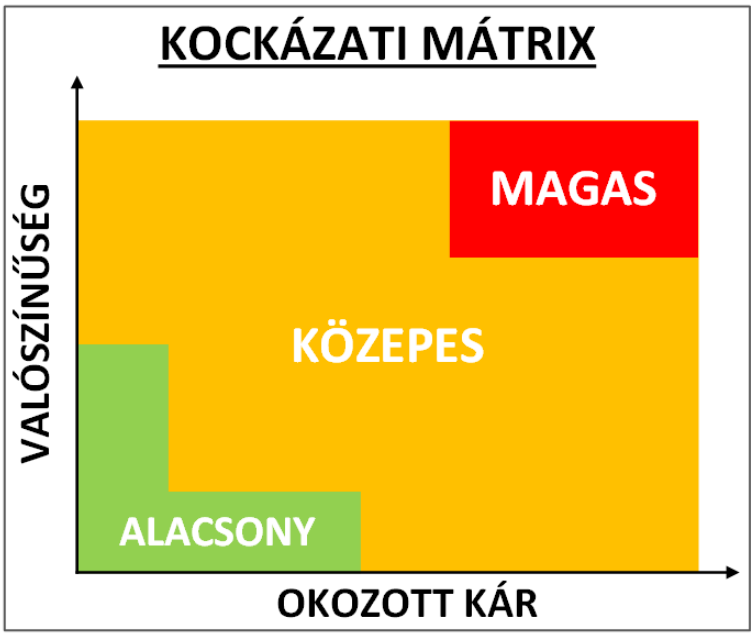


50. ábra: A kockázatalapú gondolkodás elemei: a Pareto - elv a kockázatkezelésben

A 49. ábrán már egy új fogalom, a „kockázat kezelése” merült fel. De hogyan is kell e fogalmat értelmezni, ill. a mindennapi gyakorlatban taralommal kitölteni? Első közelítésben tekintsük a minden egyes különálló lépésre (47. ábra) vonatkozó következő felsorolást:

- lehetséges veszély(ek) definiálása,
- a veszélyek, veszélyforrások azonosítása,
- milyen mértékben következhet be (veszély/mennyire kockázatos)
- mennyiségi elemzésük (veszély/kockázat),
- sorrendiségük (melyik mennyire veszélyes/kockázat),
- hogyan csökkenthetők (a veszélyek/kockázatok)?
- milyen intézkedéseket tehetünk a veszélyek/kockázatok csökkentésére?
- mennyire volt hathatós veszélyek/kockázatok csökkentésére tett intézkedéseink?
- hogyan módosítsuk a veszélyek/kockázatok csökkentésére korábban kidolgozott módszereinket?

A fenti felsorolásban a harmadik sorban megjelent egy új kifejezés, kockázatos. Eddig ugyanis a ***„kockázat”*** fogalma, amely egy komplex mennyiséget, *a veszély bekövetkezésének valószínűségét* és lehetséges *következményének nagyságát*, mértékét egyidejűleg reprezentálja.



51. ábra: A kockázatalapú gondolkodás elemei: a „kockázati mátrix”

E reprezentáns a „kockázati mátrix”, amelynek függőleges tengelyén a veszély bekövetkezésének valószínűsége van, a vízszintesen pedig a következménye (az általa okozott kár nagysága). Ebben a mátrixban pedig jól elkülöníthetők az „alacsony” és „magas” kockázatú helyek. Az alapvető gondot a következő két tény okozhat:

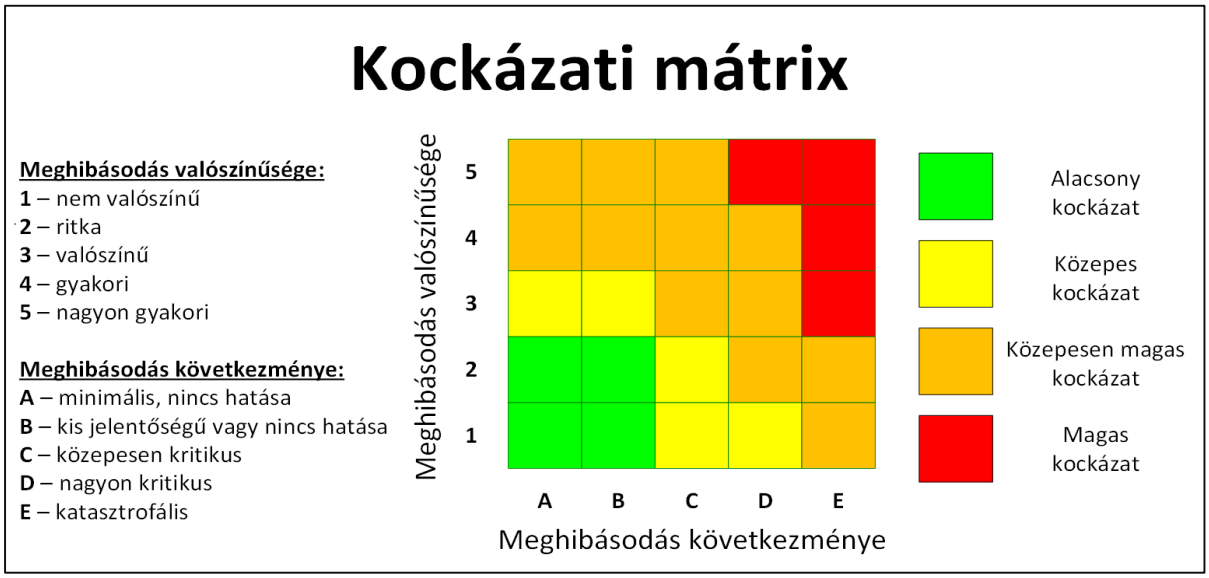
- sem a veszély valószínűsége, sem pedig az „okozott” kár nem fejezhető ki számszerűen pontosan,
- a „közepes”-nek jelölt kategória hogyan tehető jobban érzékelhetővé, azaz hogy különböztessük meg az alacsony, vagy magas kategóriákhoz inkább közelebb levő kockázatokat.

Mindkét felvetett probléma áthidalható, ha -tól, - ig kategóriákat definiálunk. Az irodalomban 3x3-as, vagy inkább 5 x 5-ös kategóriákat definiálnak. Mindegyiknek vannak előnyei és hátrányai. Gondoljunk csak a tudás felmérésére használt 1-3 vagy 1-5 kategóriák alkalmazásainak problematikájára! Az 52. ábra az 5x5-ös kategóriát szemlélteti. Ennek használatával mind a veszély bekövetkezésének valószínűsége (nem valószínű, ritka, valószínű, gyakori és nagyon gyakori), mind pedig az okozott kár (jelentéktelen, nincs számottevő hatása, közepesen kritikus, kritikus, katasztrofális) kifejezően kategorizálható. Ezekből kiindulva már „kockázati kategória” definiálható:

- alacsony kockázat
- közepes kockázat
- közepesen magas kockázat, és
- magas kockázat.

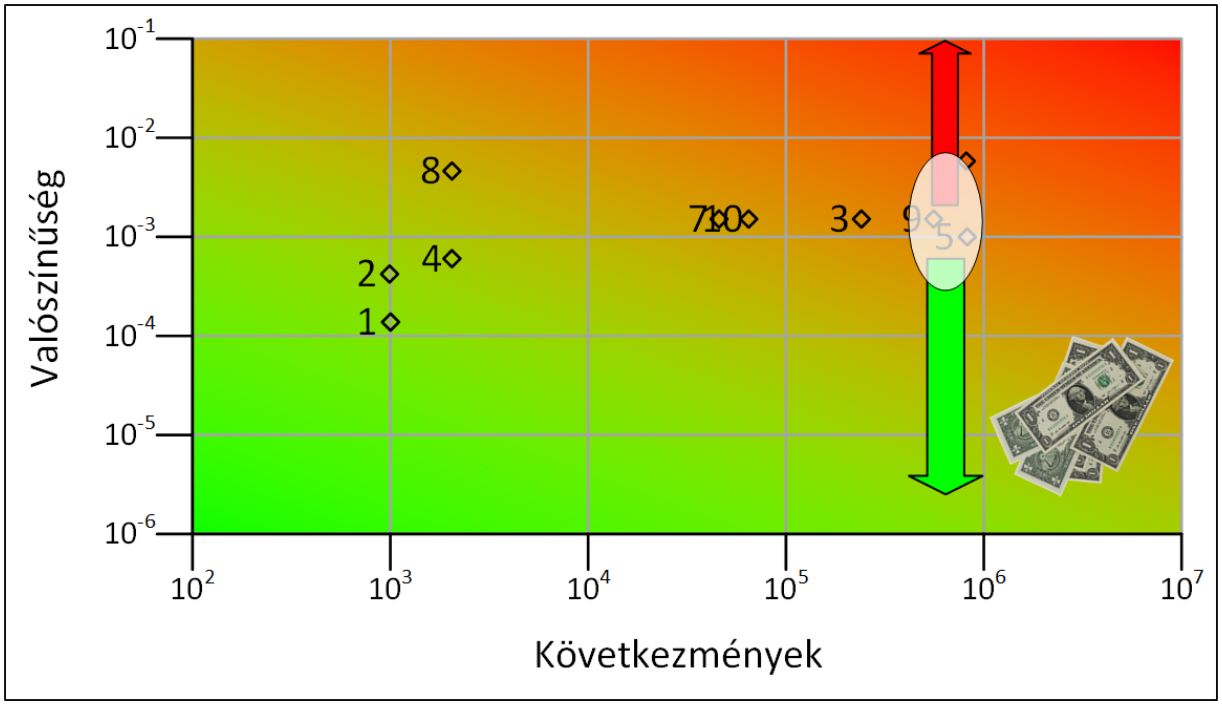
Ezzel a kategorizálással csupán a **3C** elem az, amelyik nem igazán alkalmas jelezni azt, hogy inkább az alacsony vagy a magas kockázathoz áll közelebb az adott elem. A függőleges és

vízszintes tengelyen – a műszaki élethez közeledve már – „meghibásodás” előszó szerepel az 52. ábrán.



52. ábra: A kockázatalapú gondolkodás elemei: a „kockázati mátrix” 5 x5 -ös elemekkel

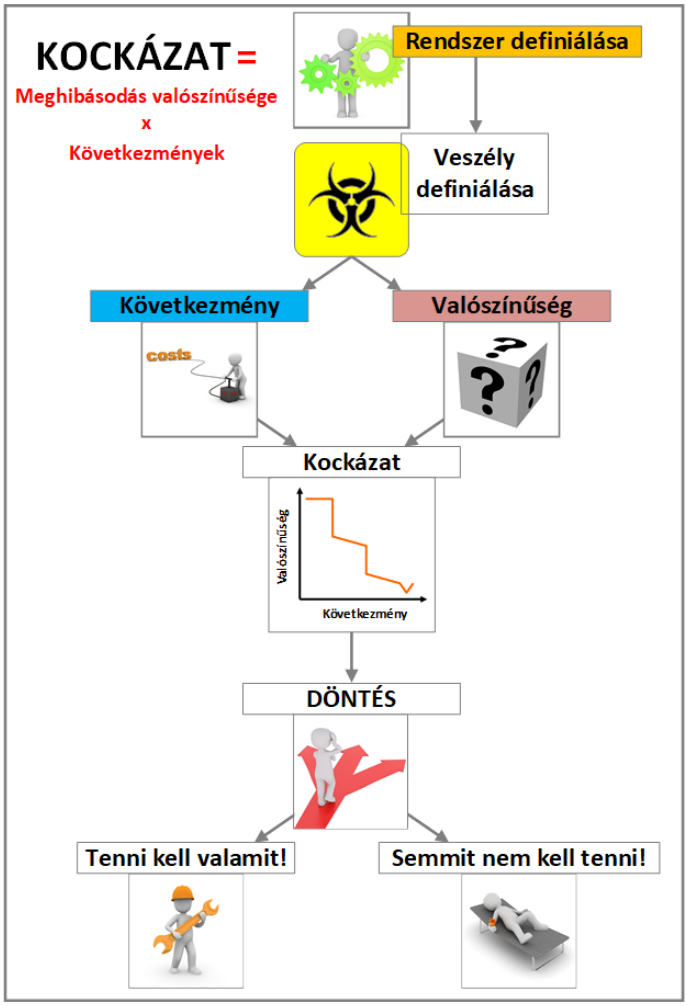
Az 53. ábrán egy hőerőmű kiválasztott „blokkjának” elemei láthatók a kockázati mátrixban. Tetszőlegesen kiválasztott, pl. a „5-jelű” elemet, annak változatlan feltétekkel további üzemeltetésével a kockázat növekszik, és idővel a „magas kockázatú” elemek közé fog tartozni. Ha viszont valamilyen kockázat-csökkentő intézkedésre, átalakításra, az állapotának folyamatos ellenőrzése valósul meg, akkor jóval hosszabb ideig üzemeltethető „közepesen magas” kockázattal.



53. ábra: A kockázatalapú gondolkodás elemei: a „kockázat kezelés”

A kockázatalapú gondolkodásmód felépítésének menete, lényegesebb elemeinek megjelenítése az 54. ábrán szemléltetve a következőket foglalja magába:

1. A rendszer definiálása elemeivel
2. Az egyes elemeit
   - veszélyeztető lehetséges hatások felmérése
   - a „veszély” bekövetkezési valószínűségének becslése
   - a bekövetkezéssel járó károk felmérése.
3. A kiválasztott elem kockázatának meghatározása
4. Az adott elem kockázatának elhelyezése
5. Az 1.4 lépések végrehajtása minden elemre
6. A kapott mátrix elemeivel kapcsolatos döntés



54. ábra: A kockázatalapú gondolkodás elemei: a „rendszer kockázati mátrixának felépítése az elemek kockázata alapján”

A rendszer kockázati mátrixának ismeretében egyrészt definiálni kell az elfogadható kockázatot, másrészt azon elemekre, amelyek az elfogadhatónál nagyobbak, további intézkedéseket kell tenni és végrehajtani ezeket. A DÖNTÉS eredményének mindenképpen anyagi vonzata is van. Az viszont egyértelmű, hogy a biztonság növelésére csak annyi anyagi befektetést kell

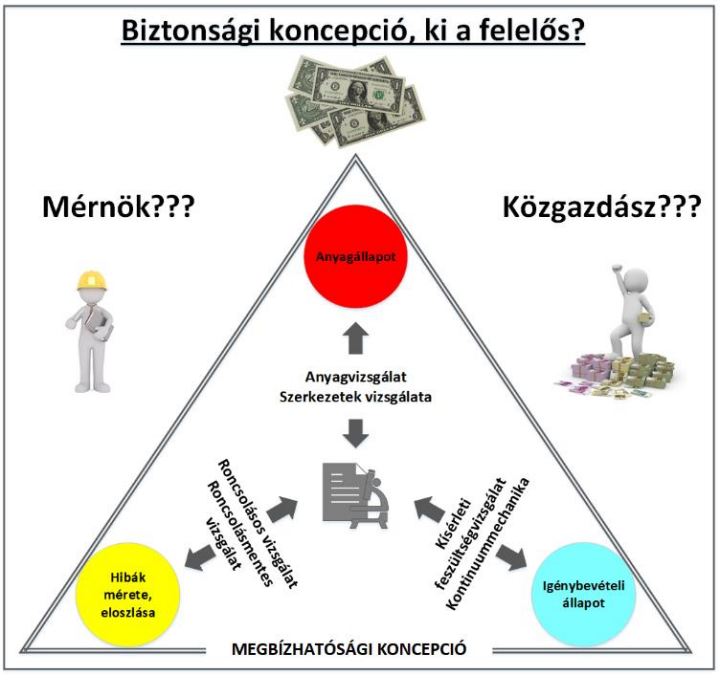
eszközölni, ami közvetlen összefüggésben van az elvárt, a még szükséges biztonsági szinttel. Ezt az elvárt egészséges arányt hivatott tükrözni az 55. ábra.

55. ábra: A biztonság szükséges szintjének és költségeinek egyensúlya

4.3 A kockázatalapú szemlélet, mint a műszaki és gazdasági élet interfésze

A vállalatvezetés egyik visszatérő és időnként sarkalatos pontja a műszaki és gazdasági vezetők viszonya. Sajnos nehezen helyrehozható hibát hoztak létre az 1950-es években, amikor „főmérnöki" beosztást kaphattak olyanok is, akik nem rendelkeztek „mérnöki diplomával". Ezt az áldatlan állapotot csak elnyújtotta az a tény, hogy a főiskolán, 3 éves tanulmányokat követően a diplomákban „mérnök" képesítés szerepelt. Az 5 éves képzésben részesültek „okleveles mérnök" diplomát kaptak. A Bolognában[4] 29 ország oktatásért felelős minisztere által 1999. június 19.-én aláírt egyezmény alapján elindult „bolognai folyamat" eredményeként hazánkban is meghonosodott a felsőfokú alap (BSc) és mesterképzés (MSc). Ebben a műszaki területeken úgymond „visszaköszön" főiskolai és egyetemi szint, amelyek a „duális -képzés" lehetőségeivel még inkább „színeződik". A műszaki jellegű képzésben a BSc és MSc szint egyaránt általánossá vált egyetemeinken. Azonban nem teljeskörű (BSc és MSc) az alap és mesterképzés a gazdasági területeken. Így a *„gazdasági igazgató"* és *„műszaki igazgató"* súlya még mindig inkább a gazdasági irányába billen. E két felelős szakember egyensúlyának helyreállítására is alkalmas eszköz a „kockázatalapú szemlélet". A „miért" és „hogyan"? – kérdésre adandó válaszhoz térjünk vissza a szerkezetek integritását érzékeltető 36. ábrára és a vállalati „profit-centrumot" reprezentáló 39. ábrára. E két gondolatkört egyesíti az 56. ábra azzal a kérdéssel kiegészítve, hogy a biztonságért ki a felelős? Hosszú évek oktatási tapasztalatai szerint jó szívvel kijelenthető, hogy a „mérnök" szó hangzott el többnyire. Ha gondolatainkban visszatérünk az 53. ábrára, a „kockázat - kezelésére" akkor máris helyreállítható a „közgazdász – mérnök" egyensúlya, azonos súlya, szerepe a biztonság garantálásában.

[4] E városban alapították Európa első egyetemét 1088-ban.



56. ábra: A kockázatalapú gondolkodás elemei: közgazdasági és műszaki szerep a kívánt biztonság megteremtésében

Az ugyanis természetes, hogy az integritást szemléltető háromszög csúcsaiban levő „szakmák” mindegyike a legkorszerűbb eszközök birtoklásáért küzd. Ennek mindenkori „kiegyensúlyozása” természetesen a „mérnök” feladata. A „mérnök” másik, és – talán fontosabb – feladata az általa felügyelt és üzemeltetett rendszer „kockázati mátrixának” elkészítése. Egy gazdasági év tervezése általában úgy indul, hogy ennyi és ennyi összeg fektethető be erre és erre a területre. Ha a mérnök jól ismeri a rendszer kockázati mátrixát, akkor alternatívákat tehet le (lásd az 53. ábrát) az ésszerű kockázatcsökkentésre, annak költségeire, avagy a „nem vállalható kockázat” kiküszöbölésének technikai megoldásaira és annak költségeire is. E lépéssel a „mérnök – közgazdász” viszony kiegyensúlyozódott és legvégső esetben a TULAJDONOS dönt, vállalva az esetleges biztonsági kockázatot, avagy a kockázat csökkentésének anyagi, gazdasági következményeit.

4.4 A kockázatalapú szemlélet alkalmazási területei

A kockázatalapú szemlélet minden olyan területen alkalmazható, amelyen a következő alapelemek biztosíthatók, azaz van

- egyértelműen definiált rendszer, amelyen
- „lépésenként” el lehet jutni egy
- kitűzött célhoz, ahol minden egyes lépést valamilyen
- veszély fenyeget, amelynek
- bekövetkezési valószínűsége becsülhető, ill.
- a „rossz lépés” következménye felmérhető.
- Ezen elemzéseket lépésről-lépésre elvégezve a cél elérésének kockázati mátrixa felrajzolható, azaz a cselekvés kockázata megjeleníthető.

- A kockázat pedig vagy *„elfogadható”* és nem kell tenni semmit, vagy *„nem elfogadható*”, azaz a kockázatot valamilyen módon kezelni kell.

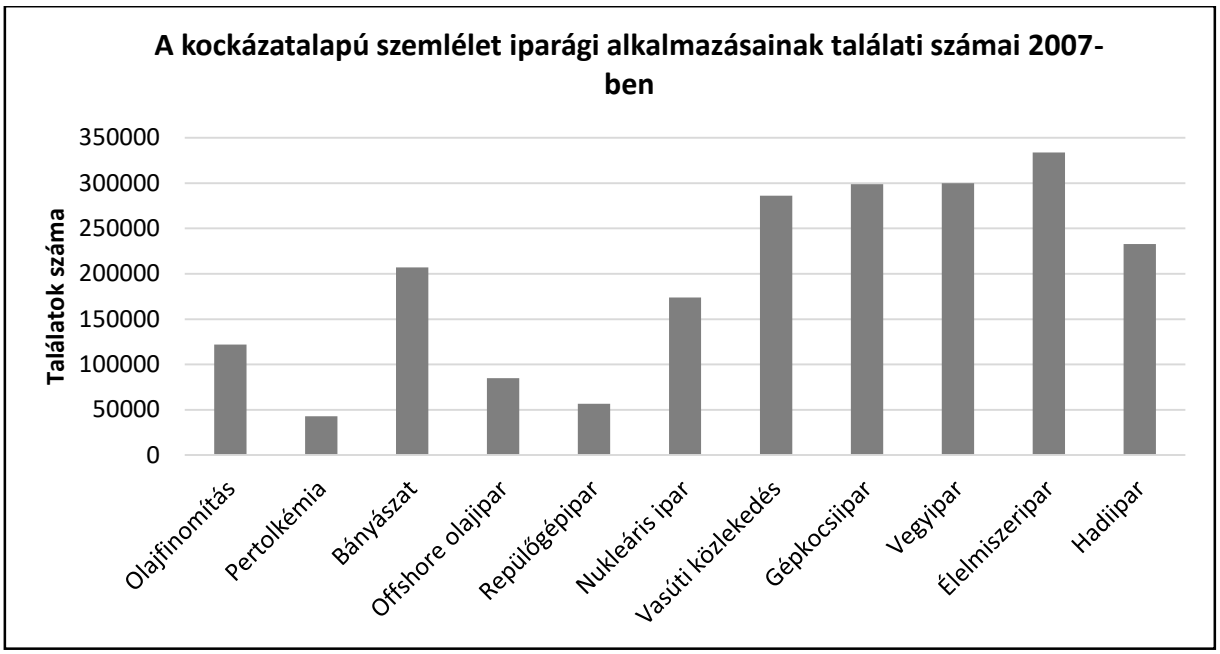
E természetes gondolkodásmódot az élet sok területén már bevezették. Nyilvánvalóan azon szektorokban nyert alkalmazást leginkább, ahol az un. „lépések száma” nem jelentős, relatíve könnyen átlátható. Az ipari bevezetés a „rendszerek” bonyolultsága, elemeinek nagy száma, a folyamatok sokrétűsége miatt lassúbb és kidolgozásuk nagyobb teameket igényel. Ennek ellenére a gondolkodásmód már sok területen meghonosodott. Ezek között vannak a következő szektorok:

- auditálás
- biztosítási területek, az életbiztosítástól a gépjárművek kötelező biztosításáig,
- eredetvizsgálat,
- mindennemű szállítmányozási folyamat,
- műszaki és társadalompolitikai folyamat monitorozása,
- minőségbiztosítási folyamatok az élet minden területén,
- környezetvédelem minden aspektusa, kezdve a hulladékgazdálkodástól a környezetre veszélyes termékek megsemmisítésig, az ipari káros anyagok tárolási technológiáján keresztül,
- munkavédelem a munkavédelmi eszközöktől az elvégzendő feladatokon át a munkafeltételek, körülmény alakításáig,
- pénzügyi szektor folyamatai az ügyfélkezeléstől a pénzmosás megakadályozásáig,
- informatikai rendszerek és folyamatok,
- közlekedésszervezés (vízi -, földi- és légiközlekedés egyaránt),
- ipari folyamatok biztonságának szervezése az ipar minden egyes szektorában, így pl.
    - olaj- és gázipar
    - élelmiszeripar, hadiipar,
    - vegyipar,
    - bányászat,
    - ….. stb.

A felsorolást lehetne folytatni végelláthatatlanul, de befejezni nem. Ebből adódóan csupán néhány terület rövid áttekintésére szorítkozhatunk. Ha egy rövid áttekintésre törekszünk kézenfekvő módon az INTERNET-re érdemes támaszkodni. Ez így is van rendjén. Azt azonban tudomásul kell venni, hogy az INTERNET segítségével végzett keresések számos „buktatóval” rendelkeznek, következésképpen az általuk szolgáltatott adatokat óvatosan kell kezelni. Napjainkban már több mint egy tucat „keresőmotor” létezik. Ezek „struktúráját” egyrészt a hardverelemekre optimalizált algoritmusokkal alakítják ki, másrészt nagyon eltérő nagyságú és struktúrájú adatbázisok állnak rendelkezésre. Ha csupán a leggyakrabban alkalmazott keresőmotorokat nézzük, akkor ezek között biztosan szerepelni fognak az alábbiak: GOOGLE, Scholar googla, Springer Link, Google Tudós, Scirus, Yahoo, Bing, Msn Search, Exalead, Lycos, ScienceDirect, Scopus, OEDRA, BASE, Ask, stb. Az INTERNET-es tájékozódások során gyakran találkozhatunk az 57. ábrán látható logókkal.

57. ábra: A gyakran használt INTERNET-es keresőmotorok logói

A „kockázatalapú gondolkodás” alkalmazási területeire visszatérve tekintsük egy GOOGLE felmérést a 2000-es évek második feléből. Az eredményt az 58. ábra szemlélteti.



58. ábra: A kockázatalapú szemlélet iparági alkalmazásainak találati számai 2007-ben

Négy olyan iparág látható, amelyik elkülönül a többitől, de ebben is legelöl áll az élelmiszeripar. Lehetséges ez? – merül fel a jogos kérdés. Menjünk be a nagy áruházláncok zöldségosztályaira és nézzük meg az áru eredetét, valamint gondoljuk meg a talált országok társadalmi, gazdasági és szociális körülményeit. Már persze nem is olyan mellbevágó a találatok számának alakulása. A másik három legnagyobb találati arányát a „vasúti közlekedés”, „gépkocsiipar” és „vegyipar” tudhatja magának. Ezek mindegyikére azt mondhatjuk egységesen, hogy nagy tömegek megmozgatói.

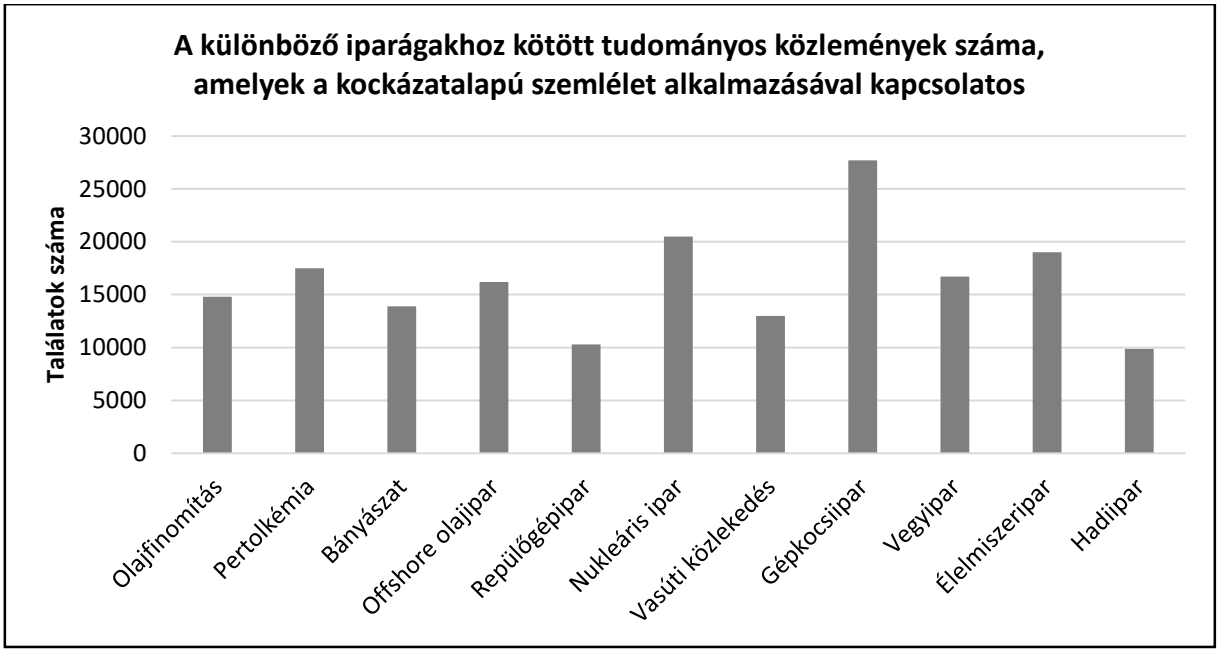
Hogy a változó világunkban miképpen változnak az iparágak egymáshoz viszonyított helyzete érdemes periodikus kereséseket végezni a következő keresőszavakkal.

- Risk –based-approach to **health and safety**
- Risk-based-approach to **external auditing**

- Risk-based-approach to **customer due diligence**
- Risk-based-approach to **money laundering**
- Risk-based-approach to **quality assurance**
- Risk-based-approach to **regulation**

Az évszám, időintervallum, nyelv, iparág stb. kiegészítésekkel pedig idősorok készíthetők.

Egy hasonló típusú, de eltérő célú keresést szemléltet az 59. ábra, ahol ugyanezen iparágakhoz kötődő tudományos közlemények száma utáni keresések találati számai vannak. A tájékozódásra 2021-ben került sor.



59. ábra: A különböző iparágakhoz kötött tudományos közlemények száma, amelyek a kockázatalapú szemlélet alkalmazásával kapcsolatos

A kockázatalapú szemlélet felsorolt alalkalmazási területeiről csupán néhány szektor eredményeinek rövid bemutatására lehet vállalkozni. A „migráció" fellendülése és finanszírozása újból előhozta a **„pénzmosás"** kérdéskörét. A kifejezés eredete **Alphonse Al Capone** (New York, 1891.01.17 – Florida, 1947.01.25.) nevéhez kötődik. A szeszcsempészetből, szerencsejátékból és prostitúció szervezéséből származó adózatlan jövedelmet pénzbedobós önkiszolgáló mosoda-lánc létrehozásával kívánta „tisztára mosni", az illegális pénzt a bevételhez könyvelve. Napjainkban a „pénzmosás" fogalmának definíciója: *„Olyan illegális, rendszerint a gazdasági szférában megvalósuló szolgáltatás, amely valamilyen (egy korábbi bűncselekményből származó piszkos pénzt látszólag legális forrásból származó pénzzé konvertálja".* A pénzmosás nagysága a GDP 2-5% tartományába, az ipari balesetek okozta veszteségek azonos nagyságrendbe esik! A folyamatnak vannak speciális jellegzetességei. Ezek:

- A pénz valódi eredetének és tulajdonosának elfedése a cél.
- Valaki folyamatosan szemmel tartja a folyamatot, a cselekvést.
- A pénz formája megváltozik (illegálisból legálisba, vagy közpénzből egyéni tulajdonba kerül).

- Törekednek az eljárás (folyamat) nyomainak eltüntetésére.

A pénzmosás megvalósulásának számos technikája alakult ki – és erősödött meg az elmúlt évtizedekben. Néhány ezek közül:

- árumozgás nélküli külkereskedelmi ügyletek, majd ÁFA visszaigénylések,
- bevitt apportok alul- vagy felülszámlázása,
- pártok, egyházak finanszírozásán keresztül,
- élet és vagyonbiztosítási ügyletek,
- adó túlfizetése,
- radikális túlszámlázások,
- kézpénzforgalom (pénzváltás),
- fiktív külkereskedelmi ügyletek,
- ékszerek vásárlása,
- szerencsejáték,
- fedővállalkozások szervezése,
- hamis „választott bíráskodás”,
- részvénytranzakciók,
- pénzintézetek megvásárlása,
- stb.-stb.

60. ábra: A pénzmosás figyelemfelhívó logója

Tekintettel arra, hogy a pénzmosás végrehajtása meghatározó módon a „bankügyletek” során valósul meg, a hazai törvényhozás 1991-től a törvények erejével igyekszik befolyásolni e tevékenységet. Először irányelveket bocsát ki, majd ezek megvitatását követően törvényt fogad el. E folyamat hazánkban így valósult meg:

- **1991 – 1. Irányelvek** (terrorizmus finanszírozásának megakadályozására)
- **1994** – 1. pénzmosás elleni törvény

- 2000 – csatlakozás a Strasbourgi Egyezményhez
- **2001- 2. Irányelvek**
- 2001 – 2. pénzmosás elleni törvény
- 2003 – 3. pénzmosás elleni törvény
- **2005- 3. Irányelvek**
- 2007 – 4. pénzmosás elleni törvény

E törekvés felerősítését hivatott alátámasztani az „ügyfél átvilágítás" folyamata, amelyet a bankoknak kell elvégezni (de elvégezhetik mindazok, akiknek bejegyzett tevékenysége van hazánkban és az EU más tagállamában e tevékenységre) az üzleti kapcsolat létesítésekor, akkor, ha

- a **3.6 mFt-ot** elérő vagy meghaladó összegű ügyleti megbízás teljesít,
- **pénzmosásra** vagy **terrorizmus** finanszírozására utaló adat, tény vagy körülmény felmerülés, akkor, ha az átvilágításra még nem került sor,
- ha a korábban rögzített ügyfélazonosító adatok **valódiságával** vagy **megfelelőségével** kapcsolatban kétség merül fel.

A kockázatlapú szemlélet másik széleskörű alkalmazási területe a **minőségbiztosítás**. E fogalom egyszerűen a „*küllem + elérhetőség + érték + elvárt igények összessége*", amely **termékre** és **szolgáltatásra** egyaránt igaz. Az elérendő célokat a minőségszabályozási rendszerek kidolgozásával biztosítják, amelyekben a kockázatalapú szemlélet a „minőségügyi ***folyamatok***" szervezésében kap helyet, a szokásos *„cél"* megfogalmazásával és az ehhez való eljutás sikeres *„lépéseit"* veszélyeztető lehetőségek és következményeket figyelembe vevő kockázatok felmérésével.

Erre utal a 61. ábra.

61. ábra: A kockázatalapú szemlélet helye a minőségbiztosítási rendszerben

A minőségbiztosítási rendszereket, azok felépítését, struktúráját nemzetközi érvényű szabványokban rögzítik. Ilyenek például a következők: ISO 9001 (2000) Minőségirányítási rendszer,

ISO 14001 Környezetirányítási rendszer, ISO 22000 Integrált rendszerek, HACCP Élelmiszer-biztonsági rendszerek és számos termelői – nagykereskedelmi speciális rendszerek.

Ugyancsak jelentős szerepe van a *„kockázatalapú szemlélet”* alkalmazásának a **munkavédelem** területén. Ezt talán jól jellemzi *az* is, hogy a „risk-based-approach to healt and safety” kereső kifejezésre adott GOOGLE-találatok száma meghaladja az 1 miilárdot. E témakörben a kockázatelemzés kiterjed egyrészt arra a **rendszerre**, ahol a *munkavégzésre* kerül sor, másrészt a munkavégzés **körülményeire**. Az adott *rendszerrel* kapcsolatban annak szerkezete és funkcióinak szisztematikus vizsgálatára, a potenciális veszélyek azonosítására és a *kockázatok nagyságának becslésére* kerül sor. A konkrét *munkavégzési folyamattal* kapcsolatban a kockázatalapú szemlélettel értékelhetők a munkavégzés **körülményeinek**, a **munkakörnyezet** kialakításának, az alkalmazott **technológiáknak** és **irányítástechnikáknak** az elemei. A miért van szüksége erre? – kérdésre a felsorolásszerű válasz:

- Ne csak a „kárból” (múltból) levont tanulságokból hozzuk meg döntéseinket.
- Előre nézve azonosítsuk, küszöböljük ki a veszélyeket.
- Fel kell mérni az egy időben, egy személyre vonatkozó összes veszélyforrást, és ezek együttes kockázatnövelő hatását.
- A megteendő intézkedések meghatározása és fontossági szempontból történő rangsorolása.
- A kockázatok elhárítása, illetve elfogadható mértékűre csökkentése.

A jogszabályi háttér e témakörben is adott a 2011. évi CXCI. törvényben. Ennek 175.§ (1) rendelkezik a „mikor kell elkészíteni” kérdéskörről. Ezek szerint:

- A munkáltató a kockázatértékelést a **tevékenység megkezdése előtt**, aztán legalább 3 évente köteles elkészíteni.
- **Újbóli elvégzés indokolt:**
    - Új munkahely létesítése
    - Új munkaeszköz telepítése
    - Meglévő munkahely átalakításakor, áttelepítésekor.

A kockázatalapú gondolkodásmód kifejezetten jól alkalmazható a **szabályozási folyamatokban.** Egy jó példa erre az ausztrál kormány 1989-ben a „Gyógyászati termékek igazgatása, ügyintézése” céljából létrehozott szabályozó rendszere, a TGA (Therapeutic Goods Administration). Ennek működtetése a közegészség védelmét szolgálja azáltal, hogy kiterjed az exportált, a hazai és az importált termékek biztonságának szabályozására és a gyógyászati termékek egységes nyilvántartási rendszerére. A kockázatkezelés kiterjed minden lehetséges kockázati tényező figyelembevételére, többek között:

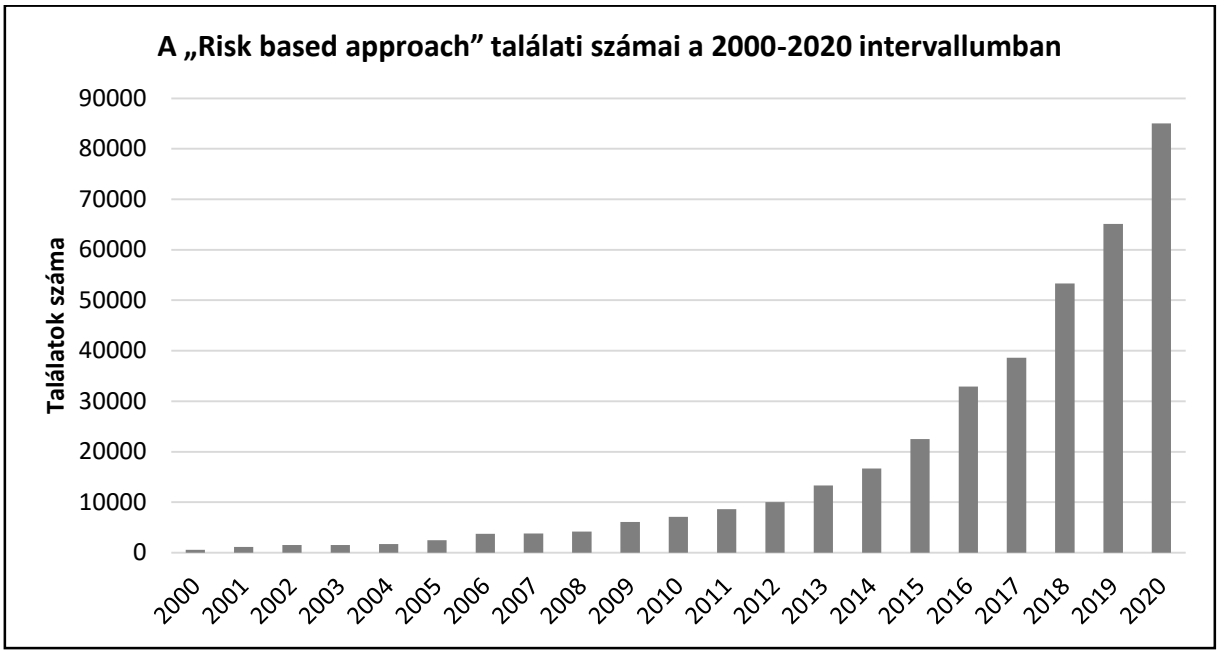
- a lehetséges mellékhatásokra és azok kezelésére,
- a tartós szedés esetleges következményeire
- az egészségügyi állapot súlyosságára, amikor az adott gyógyszer szedésére szükség van,
- magát a termékeket is „veszélyességük” alapján rendszerbe sorolják,
- a szállíthatóság körülményeire, mivel ez a folyamat is „kockázatot” hordoz.

Az **auditálási folyamatok** is a kockázatalapú szemlélet egyik „kedvenc” alkalmazási területei. Szerteágazó folyamat, mert függhet attól, hogy

- mire terjed ki (rendszer, folyamat vagy termék),
- ki végzi (belső, külső audit),
- milyen célt szolgál (tanúsítói vagy beszállítói)?

Az auditok általában a minőségi ellenőrzések részei, a szervezet szabvány szerinti minősítésének eszköze. A jogszabályi hátteret az ISO 9001 és ISO 9002, ill. az MSZEN 19011 szabványok adják.

A „kockázatalapú gondolkodásmód alkalmazási területei” kapcsán a példák sokaságát lehetne sorolni. Talán ezek abbahagyása lenne a probléma, különösen akkor, ha még azt is célul tűzzük ki, hogy a kiválasztott témakörben egy-egy periódusban milyen ütemben növekedett az INTERNET-en a találatok száma. Az alkalmazások fejlődési ütemét – talán – jól jellemezheti, ha bármelyik keresőmotorral egy „risk base approach” keresést végzünk. A GOOGLE találatait szemlélteti a 62. ábra. Az exponenciális növekedés egyértelmű. 2000 – 2013 között a növekedés lassú, míg 2014 -2020 között meglehetősen intenzív. Természtesen ennek is megvan a maga oka! Lásd később!



62. ábra: A „Risk based approach” találati számai a 2000-2020 intervallumban

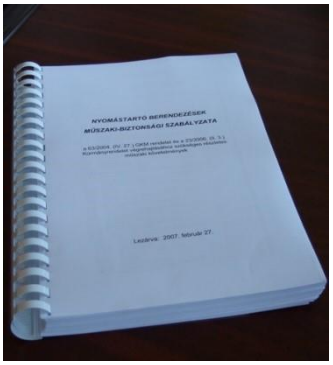
5 Kockázatalapú személet műszaki alkalmazásai

Az eddig sulykolt gondolatsor műszaki alkalmazásaihoz nem kell mást tenni, mint az alapelvek által megfogalmazottakat „átforgatni” a műszaki élet kiválasztott szektorába. A 42. ábra és az 5.4 pont bevezető mondatati szinte tollba mondják a tennivalókat. Csupán a „műszaki rendszert” kell kiválasztani, definiálni kell ennek elemeit, a „lépéseket”, majd ezeknek lehetséges „veszélyeit”, annak bekövetkezési „valószínűségének” becslését követően a lehetséges „következményeket” és máris megvan a kockázati mátrix egy pontja. Annak azonban, hogy erre az útra lehessen/kelljen lépni, megvannak a maga külső feltételei. Ezek nagyon röviden összefoglalva a következők:

- **„Tulajdonosi érdek”,** ami többnyire úgy fogalmazható meg, hogy *„minimális befektetés-elfogadható kockázat”*
- **„Hatósági érdek”** Az előírásokban definiált biztonság kielégítése.
- **„Jogi háttér”** – Mit *lehet,* vagy mit *kell* tenni?
- **„Technikai háttér”**. Legyenek szabványok, technikai anyagok, eljárásrendek, amelyeket a kidolgozás során „receptkönyvként” lehessen alkalmazni.

Az előzőkben említett 4 feltétel szerte a világban formálódik, így hazánkban is.

Erre nézve tekintsük példának a a nyomástartó rendszereket. Ezek kezeléséről a 63. ábrán látható anyag, szabályzat intézkedik.



63. ábra: A nyomástartó rendszerek műszaki biztonsági szabályzata (NYEBSZ)

5.1 A periodikus ellenőrzések során (RBI és RII)

Minden műszaki rendszert meghatározott periódusonként leállítanak, szétszednek és az elemeket átvizsgálják. Ahol erre szükség van, a javításokat vagy cseréket elvégzik, ill., ha indokolt – is a biztonsági dokumentáció előírja – a mérőrendszereket hitelesítik, majd az összeszerelést követően próbaüzemre kerül sor. Ezt követheti az újbóli üzembeállítás a „folyamatok” biztosítása érdekében definiált ellenőrzési eljárásokkal. A leállások során végzendő felülvizsgálatok kapcsán a következő három alapvető kérdés merül fel:

1. Mit / hol / kivel / **mikor** kell vizsgáltatni?
2. Az előző kérdéssor utolsó tagja arra utal, hogy milyen időközönként kell/lehet végezni a felülvizsgálatokat. Ezeket különböző szabályzatok az üzemeltetési körülmények, az iparági tapasztalatok alapján rögzítik. Abból kiindulva, hogy a biztonságért az

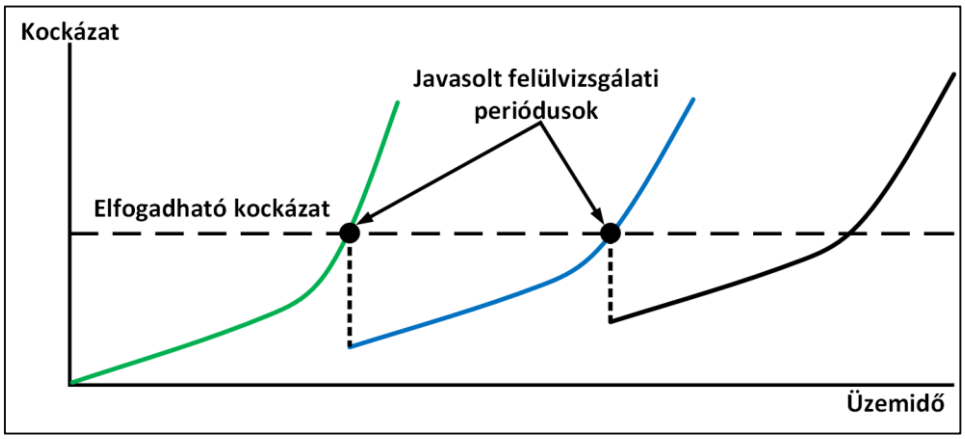
üzemeltető/tulajdonos a felelős az előírások lehetőséget adnak, hogy megfelelő indokok figyelembevételével eltérjenek. Hogy miképpen is valósulhasson ez meg, arra nézve országonként és ipari szektoronként vannak megoldások.

3. Minden szerkezeti elemet meg kell vizsgálni, avagy csak a valamilyen megfontolás alapján kijelölteket?

Hogy az előző három kérdés felvetése mit is takar, jól érzékeltetheti a 64. ábra, ahol egy olajfinomító üzem kis részlete látható.

64. ábra: Olajfinomító üzem részlete

A kérdéssor „mikor”-jára visszatérve, mi legyen a felülvizsgálat periódusideje? Esetleg 3, 5, 7 vagy 10 év? Ha egy-egy felülvizsgálat 3-4 hetes leállással, üzemeltetésből való kieséssel valósítható meg, akkor jól érzékeltethetők a gazdasági kérdések! A másik oldalon azonban az a nyilvánvaló műszaki tény van, hogy a felülvizsgálatok periódus-idejének növekedésével a meghibásodások, katasztrófák valószínűsége is növekszik. Igaz elvileg létezhetnek olyan megfontolások is, amikor a vizsgált rendszer „elfogadott kockázati szintje” alapján jelölhetők ki az aktuális felülvizsgálati periódusok. Ezt szemlélteti a 65. ábra. Igaz ehhez folyamatosan követni, „monitorozni” kell a rendszer kockázatának növekedési folyamatát, pl. a karbantartások idején tapasztalt jelenségek, a fizikai törvényszerűségek alapján prognosztizálható anyagkárosodások előrehaladását (kúszás, korrózió sebessége, repedésterjedés stb.). Mindezek megalapozhatják az előre tervezhető leállási periódusok megbízható becslését.



65. ábra: Változó idejű felülvizsgálati periódusok kijelölhetősége az elfogadható kockázat alapján.

A „hatósági” állásfoglalások általában a „még teljes egészében biztonságos” üzemeltethetőséget garantáló időközöket, mint periódusidőt adják meg, többnyire nyitva hagyva ennek megváltoztathatóságát megfelelő műszaki garanciák mellett. Erre nézve még a nyomástartó rendszerek 63. ábrán jelzett biztonsági szabályzata kapcsán visszatérünk.

A felülvizsgálatok elvégzése során felvetett 3. alapvető kérdés – *minden elemet, avagy csak a valamilyen megfontolás alapján kijelölteket* – a kockázatalapú szemléletmód alkalmazásával válaszolható meg. Ennek két lehetősége van:

- Kockázatalapú (RBI - Risk Based Inspection) módszer alkalmazása.
- Kockázati szempontokat figyelembe vevő (RII- Risk Informed Inspection) eljárás. Szokták ezt RI-ISI-vel is jelölni annak hangsúlyozására, hogy üzemközbeni ellenőrzésről, azaz „Risk Informed In Service Inspection”-ről van szó.

Hogy mi is a különbség a két szemlélet között? Ennek pontos megkülönböztetésére tekintsünk döntési szemléletünkre. Ezek a következő bázison, modelleken alapulhatnak:

- Determinisztikus, pl. ismeretes egy repedésterjedési törvény, ennek alapján meghatározható az az élettartam, amikor a törés bekövetkezik. Hasonló példa hozható fel pl. a korróziós folyamatra. Ezekben az esetekben a döntés maga attól függ, hogy milyen távol vagyunk a „legrosszabb” esettől. Ezt nevezi az angol szakirodalom a „Worst case scenario”-nak.
- Kockázat alapú (RBI), pl. amikor a kockázat nagysága – mind a veszély bekövetkezésének valószínűsége, mind pedig a következménye fizikai - modellek alapján számítható. Ekkor a döntés teljes egészében a kockázat nagysága alapján születik meg, azaz az „elfogadható/nem elfogadható” kockázat nagyságában.
- „Kockázati szempontokat figyelembe vevő (RII)”. Ekkor a döntés meghozatalában a kockázat csupán egy szempont, de egyéb szempontokat is figyelembe vesznek, pl. korábbi üzemeltetési tapasztalatokat, a becslénél felhasznált adatbázisok minőségét, ellenőrzöttségét, a hasonló körülmények között üzemeltetett rendszerekről kapott információkat stb.

Összességében tehát az mondható, hogy napjainkban

- leginkább a „Kockázati szempontokat figyelembe vevő -RII” eljárásokat alkalmazzák, és
- a szakirodalomban az RII-RBI meggondolások időnkénti keverése figyelhető meg.

A hazai szóhasználatban pedig még nagyobb a „kavarodás”, mert elterjedten használ kifejezés a „kockázatalapú karbantartás”!!!

5.2 RBI és RII alkalmazások a petrolkémiai iparban

A felülvizsgálatok műszaki tartalma természetesen minden esetben „iparág-függő”. A petrolkémiai ipar nyomástartó edényeket, csővezetékeket használ. Ezek biztonságával kapcsolatban a 63. ábrán látható NYEBSZ rendelkezik. Műszaki -technikai részletek helyett inkább a kockázatalapú szemlélet alkalmazhatóságának jogi hátterét tekintsük át. A NYEBSZ felépítését tekintve a következő fejezeteket tartalmazza:

- I. Általános előírások
- II. Létesítés
- III. Használatba vétel
- IV. Javítás, átalakítás
- V. Időszakos és rendkívüli ellenőrzések
- VI. Üzemeltetés
- VII. Vegyes rendelkezések
- VIII. Értelmezések, módosítások

A létesítés 2.2.4 pontjában olyan **„Biztonsági értékelés, veszélyelemzés”** elvégzése megkövetelt, amely kiterjed a

- Az elvileg lehetséges meghibásodási mechanizmusokra (Tervező – üzemeltető közösen)
- Ezek miképpen változhatnak az üzemeltetési tapasztalatok figyelembevételével
- *Létesítmény szintű elemzése*
- Meghibásodási mechanizmusok kiváltó okaira (hőmérséklet, közeg, üzemi paraméterek – terhelés - anyag).

Ugyancsak a létesítés 2.2.6 pontjában rögzíti, hogy a „Karbantartás utasítás” térjen ki

- A terjedelme kacsán minden berendezésre, amely átadásra kerül.
- Részletesen térjen ki:
    - Ki és mit csinálhat?
    - A megkezdés feltételeire.
    - Milyen eszközökkel kell végrehajtani?
    - Milyen körülmények között kell megvalósítani?

A 2.2.4 és 2.2.6 pontok együttesen azt jelenti, hogy a rendszerek létesítése során a tervező az üzemeltetővel közösen kidolgozhatja azt az RCM típusú karbantartási rendszert, amelyet az üzembeállítást követően az „üzemeltető” alkalmazni fog.

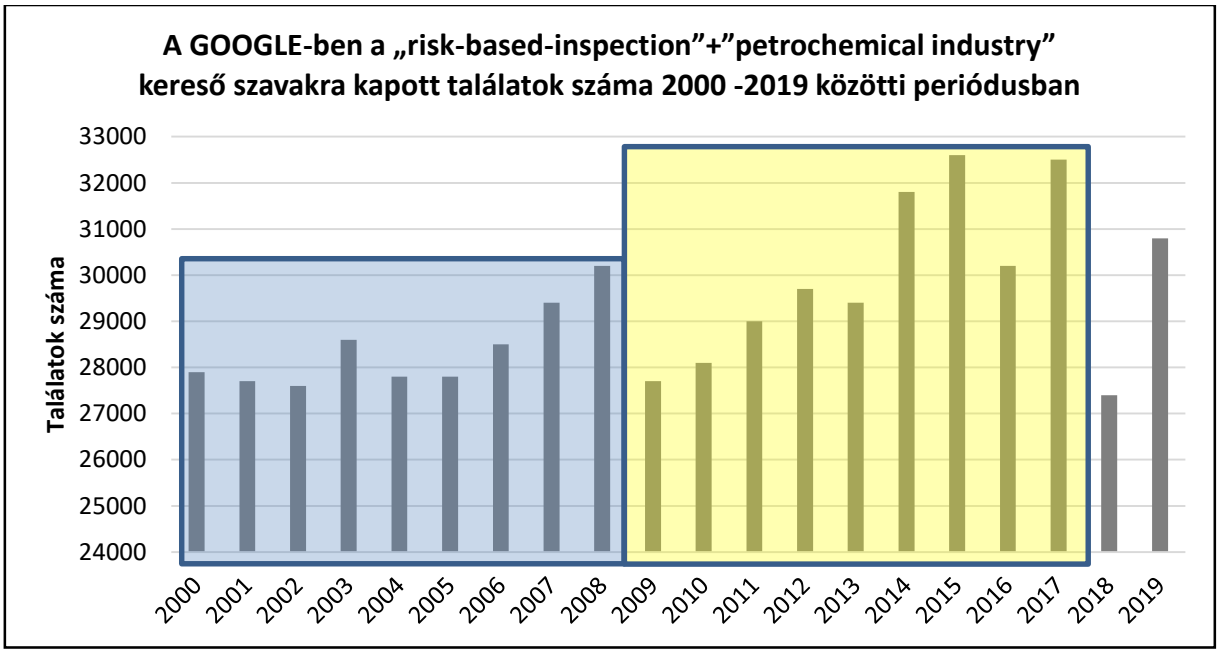
Az Időszakos és rendkívüli ellenőrzések kapcsán a

- 2.3.6. pontja rögzíti, hogy
    - Hol, mit, mivel, kivel kell vizsgálni
    - A hatóság és üzembentartó közösen alakítsa ki álláspontját a fentiekkel kapcsolatban,
    - A hatóság módosíthatja az üzemeltető által egyedül kialakított javaslatot.
- 2.3.7. pontja rendelkezik a periodikus felülvizsgálatok ciklus-idejéről
    - Az ipari tapasztalat alapján definiálja a ciklusidőt.
    - A ciklusidőt az üzemeltethető csökkentheti (üzemeltetési tapasztalatok figyelembevételével, sűrítheti periodikus vizsgálatait).
    - Az üzemeltető megfelelő műszaki indokokkal alátámasztva kérheti a felülvizsgálati ciklus-idő növelését.
    - A hatóság beavatkozási lehetősége megmarad.

A NYEBSZ előírásainak figyelembevételével akár az RBI, akár az RII módszerek alkalmazása a hazai petrolkémiai iparban elvileg általánossá vállhat. Ezt a folyamatot lassítja a „hatóság” – „üzemeltető” tradicionálisan (évtizedek alatt) kialakult viszonya, amelyben még nem kellő eréllyel jelennek meg a tulajdonviszonyok.

Hogy a világ merre halad, az relatíve egyszerűen felmérhető. A „risk-based-inspection”+”petrochemical industry” keresőszavakkal kapott találatok száma 2000-2019 intervallumban a 66. ábrán látható. Az ábrán három jellegzetes szakasz figyelhető meg, amelynek természetes meg lehetnek az okai. Ezek a következők:

- 2000 – 2008: a megeleőző 3 évben emelkedés, majd
- 2009 – 2017: az első évben erős visszaesés, majd folyamatos emelkedés, és
- 2018 – az első évben erős visszaesés, majd az újbóli növekedés megindulása.



66. ábra: A „risk-based-inspection”+”petrochemical industry” kereső szavakra kapott találatok száma 2000 -2019 közötti periódusban

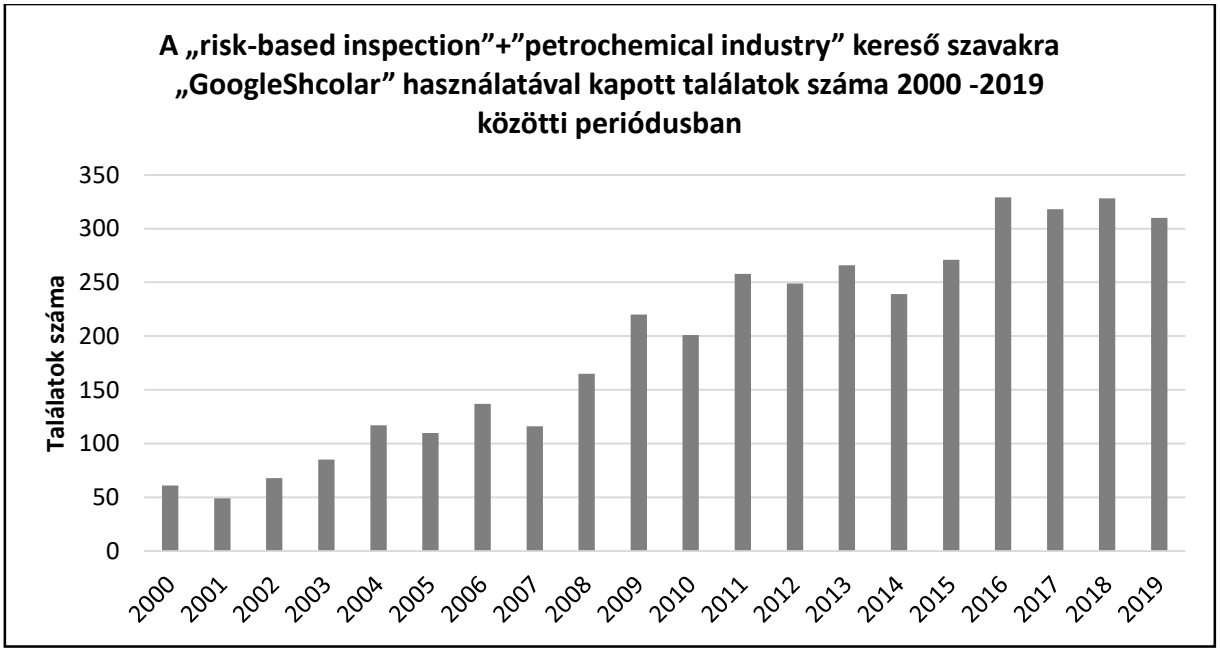
Mielőtt bármilyen „végső következtetés” deklarálva lenne, figyelembe kell venni, hogy a GOOGLE keresésékben sok nem kifejezetten szakmai találat is megjelenhet, pl. hirdetés, oktatás, tanfolyamok, munkahelyek stb. hirdetése is. Az azonban elgondolkodtató lehet, hogy az iparágra vonatkozó első RBI szabvány „összerakása” meglehetősen sok partner közös akaratával 1993-ban indult és

- az API 581 javított első kiadása 1999 januárban jelent meg, amelyet szinte azonnal követett a második változat (2000-ben). A szabvánnyal való ismerkedést követően
- 2005-2008 között egyre több helyen megindult bevezetésük, ami a 65. ábrán is jól látszik. A z előírások kidolgozóinak szűk köre azonban már az évtized közepe táján is rájött egyes gondokra -alapvetően az iparág sajátosságaiból adódó – sokrétű korróziós problémák kezelésénél. Ebből adódóan

- 2016-ban megjelent az API 581 harmadik változata. A 2008-as növekedést a korábban beindul lendület, a 2009-es visszaesés az új kiadásban közölt változások értékelésének eredménye. 2019 áprilisában az 1. kiegészítéssel, 2020 októberén pedig a 2. számúval bővült az előírás. Ezek megjelenését feltehetően a 2014-2017 periódusban tapasztalt stagnálást követő 2018-as erőteljes visszaesés indukálta.

A témakör tudományos munkáinak, publikációinak számát a GOOGLE Scholar keresőmotorját használva 2000 – 2016 között - szinte – folyamatos növekedés, majd az utóbbi 3-4 évben stagnálás tapasztalható. Ezt meggyőzően szemlélteti a 67. ábra.

Az API 581 gondolatkörének széleskörű bevezetését tanfolyamok sokasága és a látványos alkalmazói szoftverek piaci megjelenése (DNV – Det Norske Veritas, Bureau Veritas,..) segíti. Hazánkban a Százhalombattai Finomítóban az utóbbi szoftver alkalmazásával kb. 3600 nyomástartó edény és 40.000 csőszakasz adatainak feldolgozásával készült el az RBI elemzés. A SZLOVNAFT- nál a DNV szoftvere lett alkalmazva.



67. ábra: A „risk-based inspection”+”petrochemical industry” kereső szavakra „GoogleShcolar” használatával kapott találatok száma 2000 -2019 közötti periódusban

5.3 RBI és RII alkalmazások a nukleáris iparban

Az atomerőmű legnagyobb potenciális veszélyforrása a technológiából adódó és az erőmű kezelőire, a polgári lakosságra és a környezetre veszélyt jelentő radioaktív sugárzás. A jelenleg üzemelő atomerőművek tervezése során a biztonság értékelése a „mélységben tagolt védelem” elvének felhasználásával történt. Az egymásra épülő védelmi rétegek meglétén alapuló tervezés és üzemeltetés több egyidejű műszaki meghibásodás és emberi tévedés esetén is védelmet jelent a radioaktív sugárzás kibocsátásával szemben, aminek eredményeként a meghibásodásoknak és az emberi hibáknak csak valamennyi védelmi réteget érintő szélsőséges egybeesése válthat ki súlyos balesetet [36]. Az erőművek legfontosabb eleme a reaktortartály. Ennek katasztrofális törését általában 10^{-6}/év valószínűséggel fogadja el a szakmai környezet.

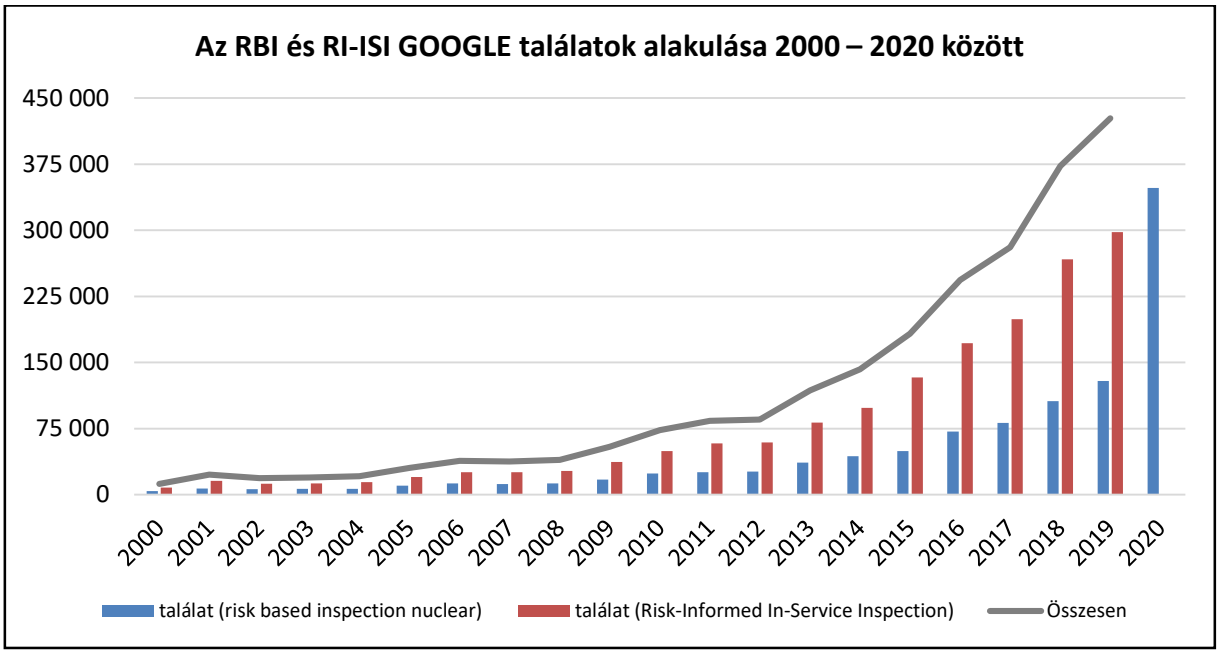
A nukleáris erőművek karbantartásához és periodikus ellenörzéséhez kötődő tevékenységeket a bécsi székhelyű International Atomic Energy Agency (IAEA) koordinálja és periódikus, szabadon letölthető kiadványaival segíti, meghagyva az üzemelető döntési jogát a módszerek stratégiák kiválasztásában.

68. ábra: Néhány IAEA dokumentum.

Különböző felmérések szerint a nukleáris erőművek csővezetékeinek RI-ISI típusú ellenőrzését mára már többnyire alkalmazzák, világszerte egyre terjed és egyre inkább mindennapi gyakorlattá válik. Amerikában több mint 50 blokkra hatóságilag engedélyezett. Európa több országában kipróbálás és bevezetés alatt állnak a kétségtelenül költséghatékony RI-ISI módszerek. Ezen a piacon megjelentek a legkülönbözőbb eljárások ajánlatai pl. EPRI, a STUK, WOG, DNV módszer az OMF-rendszerekben. Azonban mindenképpen figyelembe kell venni, hogy a nukleáris ipar speciális sajátosságokkal bír az általánosan elfogadott ipari szektorokhoz viszonyítva. Ezek a következők:

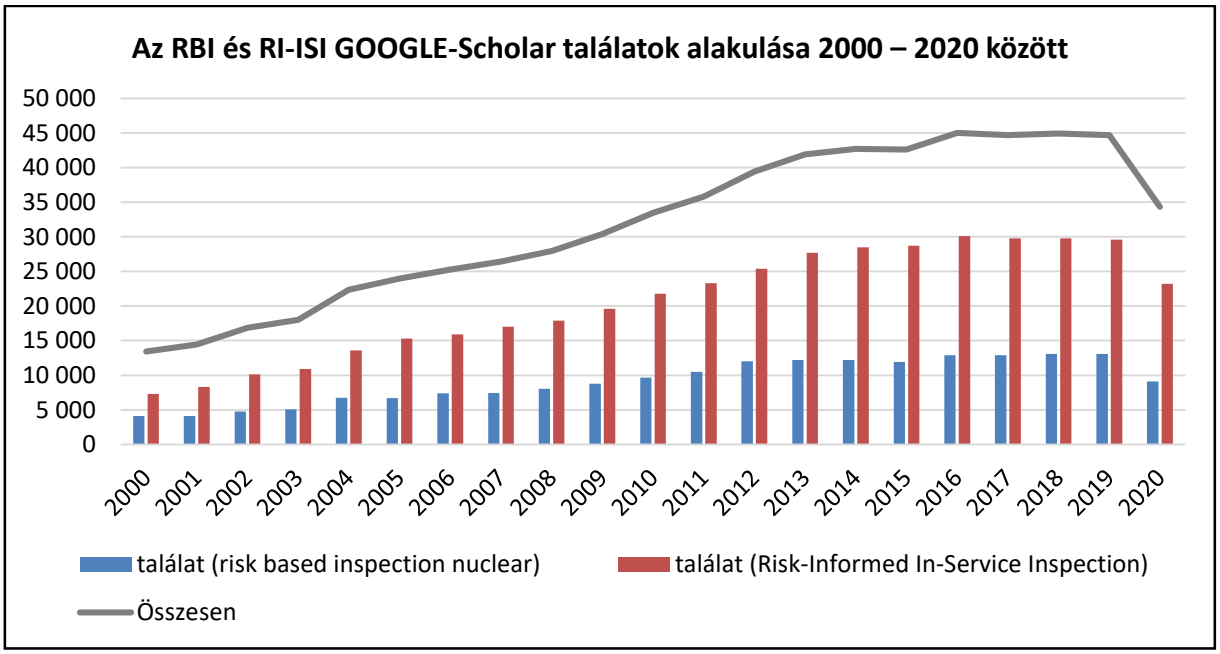
- A hatósági felügyelete eltérő
- E terület baleseteinek következményei hosszútávra kiterjedhetnek
- Minden változáshoz konzervatív módon közelít.

Mindezek ellenére az tapasztalható, hogy a GOOGLE adatbázisa értemében mind az RBI, mind pedig az RI-ISI folyamatosan növekszik, mint ahogyan ezt a 69. ábra is szemlélteti.



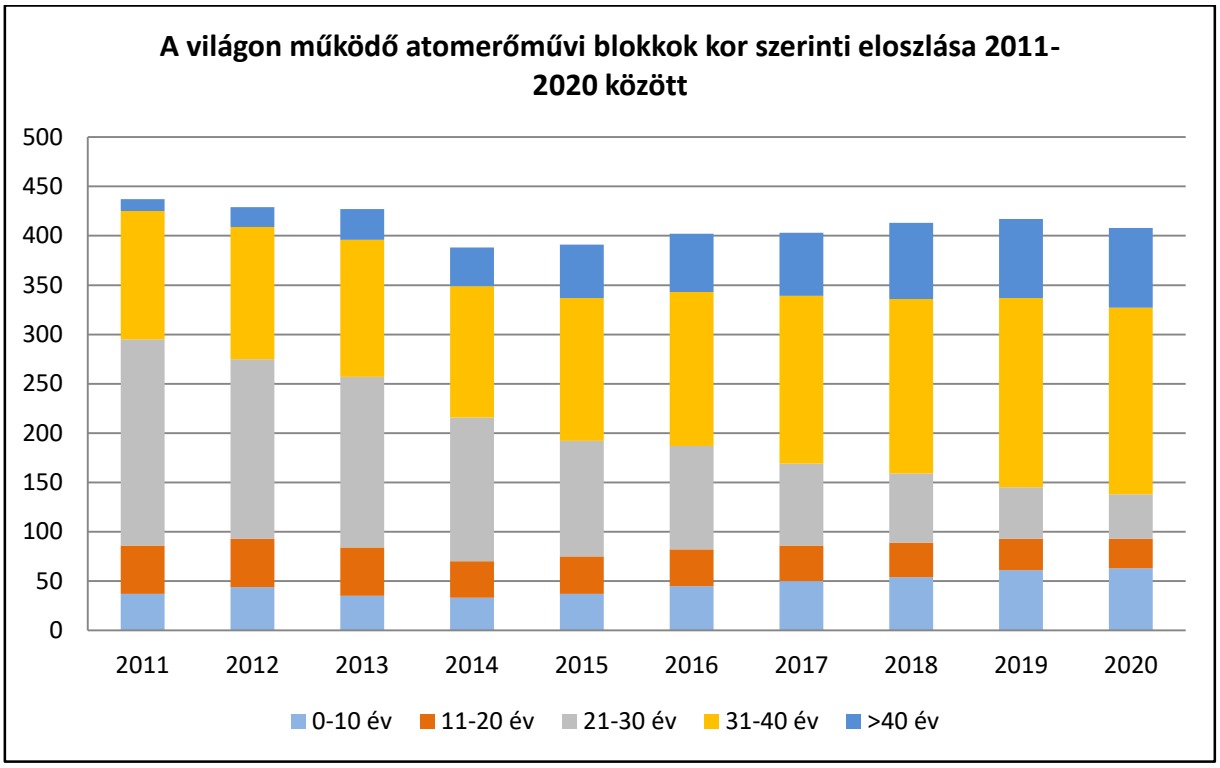
69. ábra: Az RBI és RI-ISI GOOGLE találatok alakulása 2000 – 2020 között

A többnyire tanulmányokat, tudományos közleményeket tartalmazó GOOGLE-Scholar adatbázisa szerint e témakörrel foglalkozó publikációk száma 2000-2019 között folyamatosan növekedett. A 2020 évi törés feltehetően a nem teljesen feltöltött adatok következménye. A kapott találati számokat a 70. ábra fogja egységbe.



70. ábra: Az RBI és RI-ISI GOOGLE-Scholar találatok alakulása 2000 – 2020 között

Hogy mi is várható az elkövetkezendő 5-10 évben? Erre következtethetünk a 67. és 68. ábrák adataiból. Ezt csak megerősíti az 71. ábra, ahol a világ kb. 450 blokkjának életkor eloszlása látható.

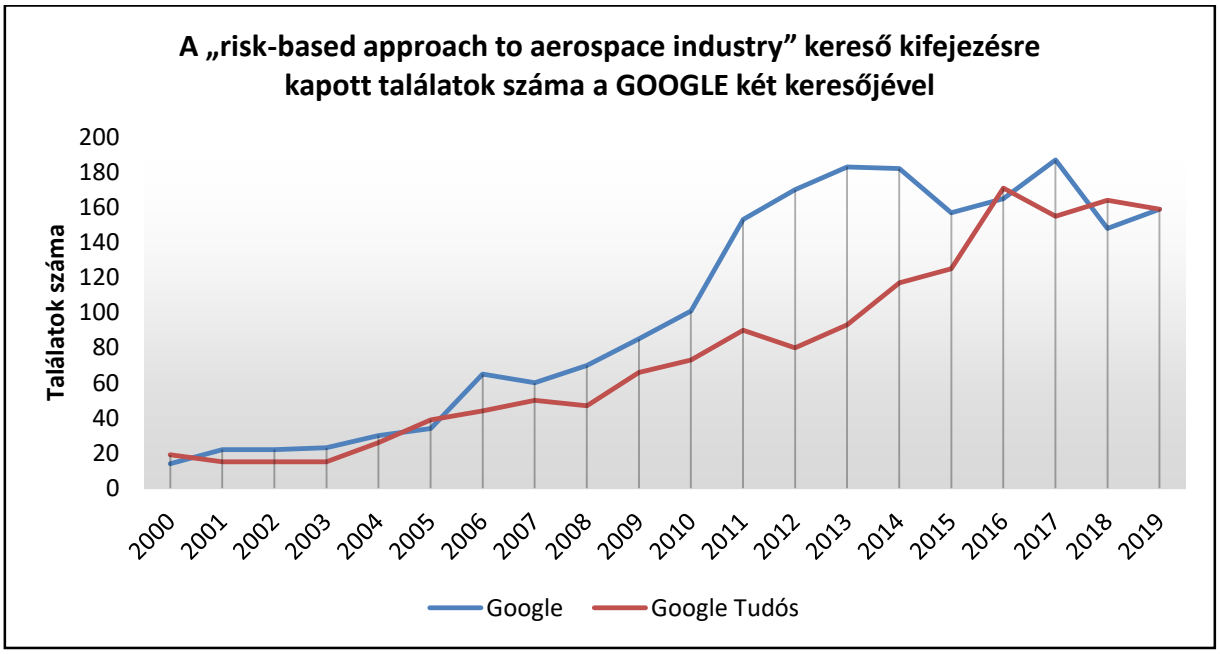


71. ábra: A nukleáris blokkok életkorának megoszlása

A 30-40 éves blokkok dominanciája emelkedik, az üzemidő meghosszabbítása iránti kérelmek sokasodnak, ismereteink fokozatosan bővülnek, a vizsgálatokhoz szükséges eszközrendszer egyre inkább fejlődik és egyre csökken a méretük, következésképpen egyre több információ fog rendelkezésre állni az RI-RSI módszerek alkalmazására.

5.4 RBI és RII alkalmazások az űriparban

E harmadik műszaki terület kiválasztásának célja az, hogy tájékozódni próbáljunk az űriparba való betekintés lehetőségeiről. A 2000 – 2020 közötti periódusra kapott, a 72. ábrán szereplő adatok arra engednek következtetni, hogy bármennyire is fejlett technológiákat alkalmaz az űripar, nem törekszik kockázatértékelési rendszereit a „hétköznapi élet” számára közkinccsé tenni. Ezt igazolja egyrészt a találatok viszonylag kevés száma, másrészt az a tény, hogy a +GOOGLE” és a „GOOGLE Tudós” közel azonos számú találatot jelzett. Egyedül a 2011 - 2016 periódusban kapott találati számok különbségének okát érdemes elemezni. Az időben való növekedés azonban megkérdőjelezhetetlen.



72. ábra: A „risk-based approach to aerospace industry" kereső kifejezésre kapott találatok száma a GOOGLE két adatbázisában

Az „kockázatalapú szemlélet" alkalmazási területeinek kapcsán bemutatott INTERNET-es keresési eredmények a következő célokat demonstrálták:

- Bármikor számunkra új szakmai területre kívánunk lépni első lépés az legyen, hogy rövid idő alatt tájékozódjunk ennek helyéről, súlyáról a világ szakmai közéletében. Erről meggyőződhetünk idősorok összeállításával.
- Sohase támaszkodjunk következtetésünk megfogalmazásánál csupán egyetlen adatbázis és „keresőmotor" használatára.
- Ne csupán a „felszint" szemléljük a legnagyobb adatbázisra, a GOOGLE-ra támaszkodva.
- Mindenképpen végezzünk kereséseket a témaközhöz kapcsolódó „tudományos" értékű adatbázisokban (publikációk, tanulmányok, szabványok tekintetében is a Google-Scholar, Elsevier, Scopus, …keresőmotorokkal) is.
- Végezzünk kereséseket a témakör más „kereső - szavainak, kifejezéseinek" felhasználásával is.
- Következtetéseinket csak a tendenciák összhangja, vagy dominanciája alapján fogalmazzuk meg.

Az előző célok és a bemutatott eredmények alapján egyértelműen állítható, hogy a ***„kockázatalapú szemlélet"***

- ipari alkalmazását a nagy ipari rendszerek privatizációja indította el,
- a közvetlen kiváltó oka pedig az volt, hogy az üzemelő nagy ipari rendszerek „profit-centruma" a biztonság szintjét garantáló „megbízhatósági" tevékenységeken (a folyamatos karbantartás és a periodikus felülvizsgálat) nyugszik,

- robbanásszerű terjedése figyelhető meg világszerte, mivel e gondolatkörben a „biztonsági szint és annak költségei” optimalizálhatók,
- kiválóan alkalmazható a „rendelkezésreállás” szintjének és költségeinek elemzésére és optimalizálásra is,
- a kiválasztott, példaként bemutatott ipari szektorokban eredményesen alkalmazzák,
- mindennapi életünk alapvető irányítója, következésképpen „szabályozott bevezetése” egyre több területen megvalósul.

Jogos kérdés, mit fejez ki a „**szabályozott** bevezetés”? A válasz egyszerű: „receptkönyvszerű” szabványok, technikai anyagok elkészítése, amelyekkel bármelyik kiválasztott témakör „kockázat szemléletű” kezelése megvalósítható. Mivel a gondolatkör minden olyan területen alkalmazható, ahol

- definiálható egy rendszer,
- létezik kitűzött cél, ami elérhető olyan
- lépések (elemek) sorozatával, amelyeket
- veszély (meghibásodás) fenyeget, amelyek
- valamilyen valószínűséggel következhetnek be és ezeknek
- következményei vannak, azaz
- definiálható az „egyes lépések kockázatán” nyugvó cél elérésének „vizuális” kockázati mátrixa.

A „kockázati mátrix” megléte pedig számos olyan folyamatot indít el, amely az adott rendszert, annak környezetét jobbá (költséghatékonyabbá, átláthatóbakká, a működési hibákat kimutathatóbbakká stb. teszik). Aki egy ilyen rendszer kialakítását kívánja megvalósítani az a következő két alapvető kérdéssel találkozik:

- Mi mindenre kell gondolnom, ha egy adott környezetben, adott rendszerben meg szeretném valósítani a „kockázatalapú folyamatkezelést”? Másképpen fogalmazva: hogyan tervezzem meg ezt?
- Milyen eljárásokat alkalmazzak és hogyan kezeljem a kockázatokat?

Az első célt hivatott kiszolgálni az ISO 31000, amely 2009. november 15.-én jelent meg. A második cél megvalósításának „receptkönyve” az ISO 31010 2010 szeptember 1.-jén jelent meg angol nyelven, a magyar változat egy évre rá 2011. szeptember 1.-én látott napvilágot.

6 Szabványok a kockázatalapú szemlélet bevezetéséhez

6.1 ISO 31000, Kockázatmenedzsment, Irányelvek

A szabvány megalkotását többek között a következő alapvető gondolatok, **alapelvek** vezérelték:

- Nemzetközileg azonos felfogás kialakítása
- Inkább elvek és általános útmutató, mintsem előírt szabályok halmaza
- Szektortól független elvi eljárásrend
- Tevékenységek széles körére alkalmazható, pl. vezetői stratégia, (fő)folyamatok, funkciók, projektek, termékek és szolgáltatások, vagyon.

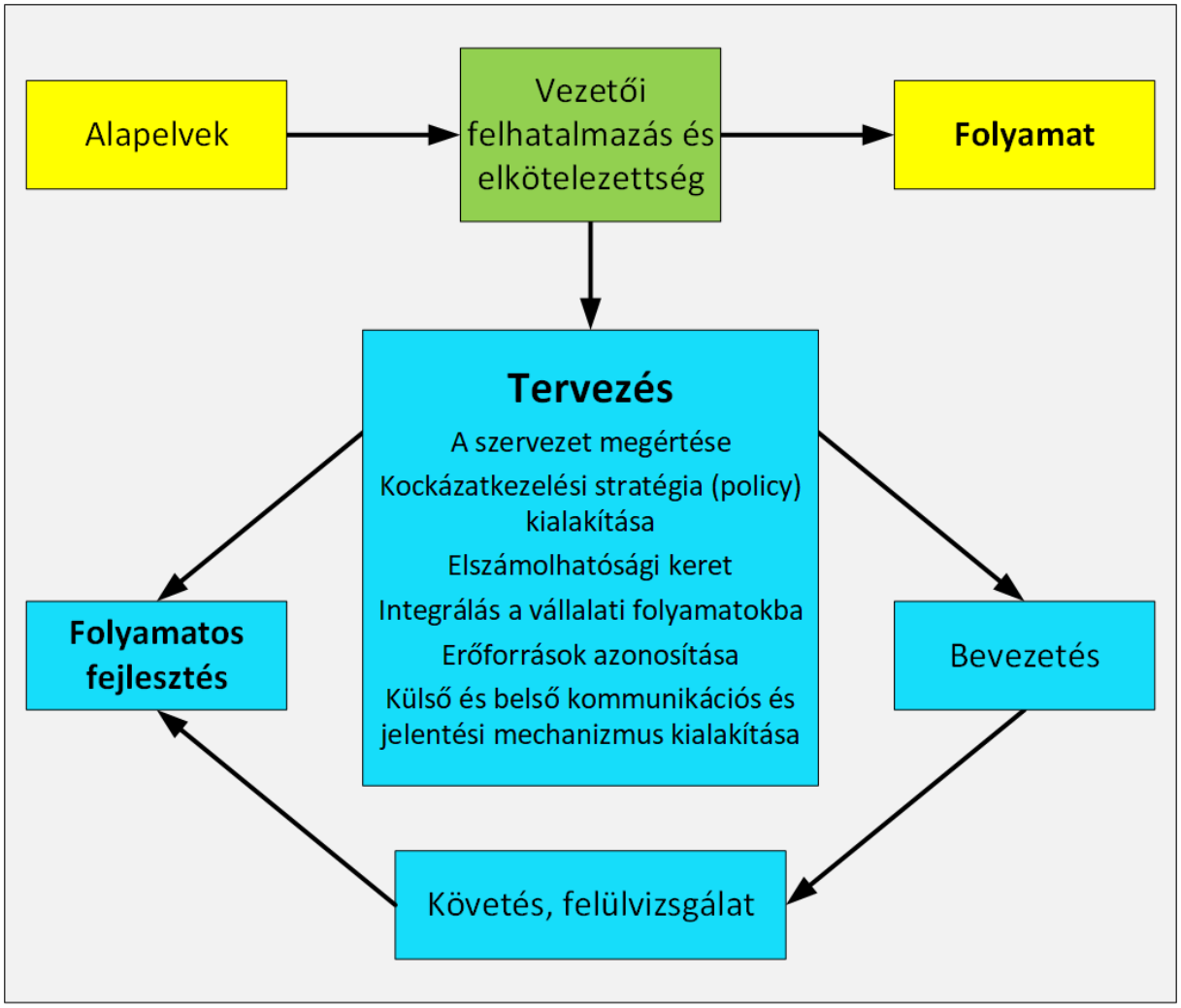
Amit a „kockázatalapú szemlélet" adott rendszerbe való beültetésével, mint elveket kívánnak a szabvány alkalmazásával elérni, azok a következők:

- értéket hozzon létre a vállalatnak,
- a vállalati folyamatok integráns része legyen,
- tényező legyen a vezetői döntések minden szintjén,
- kifejezetten a bizonytalanságra irányuljon,
- rendszeres, strukturált és időszerű legyen,
- tevékenységei a legjobb hozzáférhető információn alapuljanak,
- teljes folyamatát testre kell szabni,
- az emberi és kulturális tényezőket minden esetben vegye figyelembe,
- legyen átlátható és teljes körű,
- folyamata legyen dinamikus, interaktív és reagálóképes a változásokra,
- segítse elő a folyamatos tökéletesítést,
- erősítse a vállalat működését.

Az ISO 31000 struktúrája a következő:

1. Alkalmazási területek (Scope)
2. Szakkifejezések és meghatározások (Term and Definitions)
3. Elvek (PRINCIPLES)
4. **Alkalmazási keretek** (FRAMEWORK)
    - Bevezetés (General)
    - Felhatalmazás és Küldetés (Mandate and commitment)
    - Tervezés keretei (Design of the framework)
    - Bevezetés folyamata (Implementation)
    - Ellenőrzés folyamata (Monitoring)
    - Folyamatos karbantartás (Continual improvement)
5. **A kockázat menedzselés folyamata** (Process)

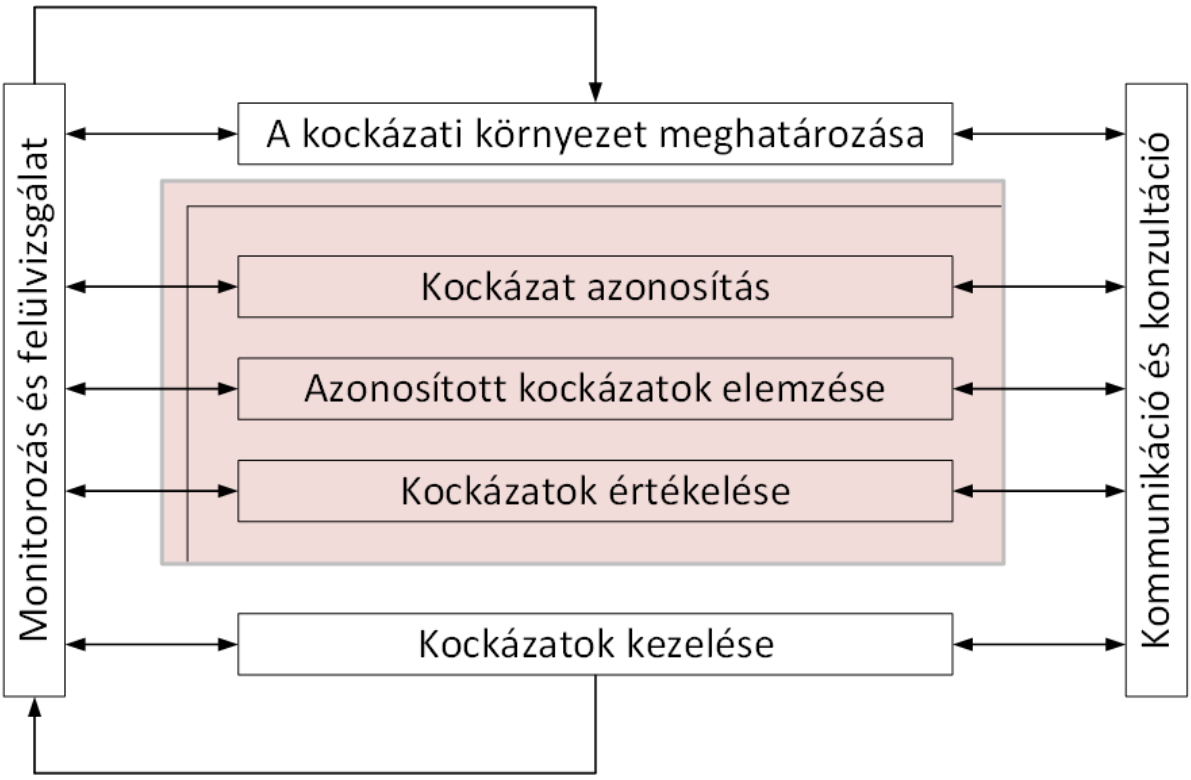
A kockázatmenedzselés folyamatát, lépéseit, azok kapcsolatát hivatott bemutatni a 73. ábra.



73. ábra: A kockázatalapú szemlélet keretmodellje, az egyes lépések és ezek kapcsolata

A 73. ábrát szemlélve a „kockázatalapú gondolkodásmód" egy adott „rendszerben" történő meghonosításának legfontosabb feltétele a ***„vezetői felhatalmazás és elkötelezettség".*** E nélkül ugyanis reménytelen bármit is tenni. Ha ez megvan, akkor hozzá lehet kezdeni a tervezéshez. E keretben feltüntetett lépéseket kell megtenni és olyan mélységgel kifejteni, hogy mind a vállalati, mind a befektetői, mind a cég működésének helyet adó környezet számára nyilvánvalóvá váljon a kezdeményezés hasznossága.

Ha a tervezés folyamata befejeződött a rendszert be kell vezetni, követni kell működését, felülvizsgálni a „hozott eredményeket" és a szükségesnek ítélt módosításokkal korrigálni kell a tervez. Maga, a kockázatkezelési folyamat lényegét foglalja össze a 74. ábra. A gondolkodási mód ezen mozzanatairól már többször esett szó (rendszer, elemek, lépések, veszély, valószínűség, következmény, elfogadható/nem elfogadható kockázat, mit tegyek azért, hogy…)



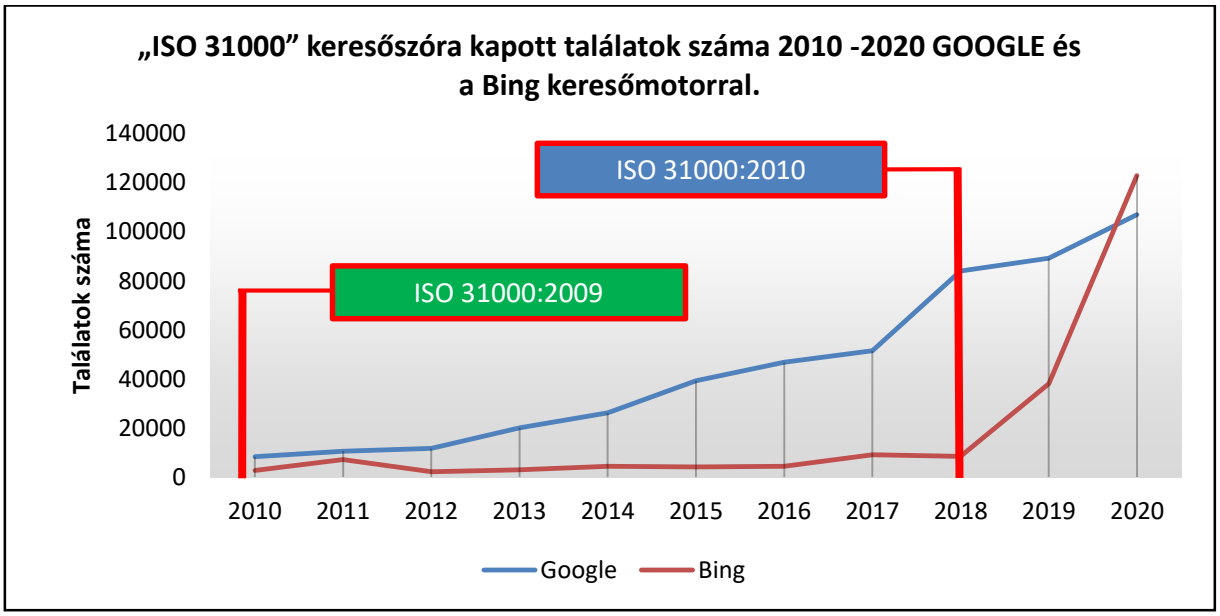
74. ábra: A kockázatmenedzselés folyamata.

A szabvány minden egyes lépése, paragrafusa ténylegesen olyan mélységig kidolgozott és „szájba – rágó”, hogy aki tisztában van bevezetendő elképzeléseivel „team -vezetőként”, a megfelelő területek szakembereivel kiváló anyagot, tervet tud relatíve rövid idő alatt elkészíteni.

Ahhoz, hogy egy meglevő vállalati struktúrában új elemként megjelenhessen a „kockázatalapú gondolkodási mód” lehetnek/vannak bizonyos feltételek, mint például:

- Általános:
    - Tulajdonos, Hatóság, Jog, Technikai háttér
- Speciális, lokális
    - Üzem típusa. Termékskála, Technológia típusa, színvonala, Automatizáltság mértéke, szintje
- Személyi érdekeltség
    - KREATIVITÁS, Tulajdonos - Beosztott viszonya
- Képzettség szintje

Az ISO 31000 szabvánnyal kapcsolatos idősort a 75. ábra szemlélteti.



75. ábra: „ISO 31000” keresőszóra kapott találatok száma 2010 -2020 intervallumban GOOGLE és a Bing keresőmotorral.

Ne feledjük, a szabvány megjelenésének éve 2009 és 2018-ban lett módosítva.

A módosítások a következőkre terjedtek ki:

ISO 31000 – 2018

- ISO 31000: Risk **Management** Package
- ISO TR 31004: Risk Management Principles and Guidance Package
- ISO Guide 73/ISO IEC 31010: Risk management Package
- ISO 22301: Risk management of Societal Security Package
- ISO/TEC 27002 Information Technology. Risk management Package
- ISO 9001/ISO 14001/ISO/IEC 27001/ISO 31000/ISO 55001ISO 22301 – ISO Requirements Collection
- ISO 31000/ISO 19600: Risk Management Compliance Set
- ISO 31000:2018 and ISO 31000:2009–Risk Management Transition Set

- ISO 31022 – Guidelines for Implementation of **Enterprise Legal Risk Management**
- ISO 31030 – Risk Management – Managing Travel Risk – Guidance for Organisation
- ISO 31050 – Guidance for Managing Emerging Risk to **Enhance Resilience**

A listában feltűnhet (a piros színnel kiemelt), hogy bekerült egy olyan anyag is, amely a 2009-ben bevezetett változatot „átvezeti” a 2018-ban megjelentve, azaz biztosítja a kompatibilitást.

6.2 ISO 31010, Kockázatkezelés. Kockázatfelmérési irányelvek

A 2010-ben megjelent 31010 tulajdonképpen a 31000 támogató szabványa, a „szakmunka” elvégzésének tökéletes útmutatója. Fejezetei a következők:

1. Alkalmazási terület
2. Rendelkezési hivatkozások
3. Szakkifejezések és meghatározások
4. **Kockázatfelmérési elvek**
5. **Kockázatfelmérési folyamat**
6. **Kockázatfelmérési eljárások kiválasztása**
7. M1: Eljárások összehasonlítása
8. M2: Eljárások

A vastag betűvel kiemelt 4-6 fejezetekben mintegy 12 oldal terjedelemben lettek összefoglalva a legfontosabb megfontolások, amelyeket figyelembe kell venni a „kockázatalapú gondolkodásmód" gyakorlati megvalósítása kapcsán.

A kockázatfelmérési elvek kitérnek a

- célokra és előnyökre,
- a kockázatfelmérés és kockázatkezelés
    - fogalmi kereteire,
    - folyamatára, ill. ezen belül
        - az általános előírásokra
        - a kommunikációra, annak szükségességére
        - a rendszerelemek összefüggéseinek rögzítésére (külső, belső, kockázatkezelésre vonatkozó, kockázati kritériumok meghatározása
        - kockázatfelmérés módszereire,
        - a kockázat kezelésére
        - a monitorozás és felülvizsgálat mikéntjére.

A Kockázatfelmérési folyamat kapcsán az

- Az áttekintést követően a
- a kockázat azonosításának mikéntje következik, majd a
- kockázatelemzés, amely kitér az
    - általános előírások mellett,
    - az irányítási struktúrákra, azok lehetséges szerepére
    - a következményelemzésre,
    - a lehetséges veszély bekövetkezésének valószínűségelemzésére és becslésére,
    - az előzetes elemzés szükségességére és fontosságára, valamint
    - a kockázatelemzés bizonytalanságaira és érzékenységére (a különböző paraméterek hatása hogyan bebefolyásolja a kockázat nagyságát).
- A kockázatbecslés módjára, a végzett felmérés
- dokumentálásának mikéntje. Ezt követően a követendő
- monitorozás és felülvizsgálati kockázatfelmérés kapcsán annak megállapítása, hogy az alkalmazott kockázatfelmérés
- hogyan alkalmazható az életciklusok különböző szakaszaiban.

A kockázatfelmérési eljárások kiválasztása kapcsán az

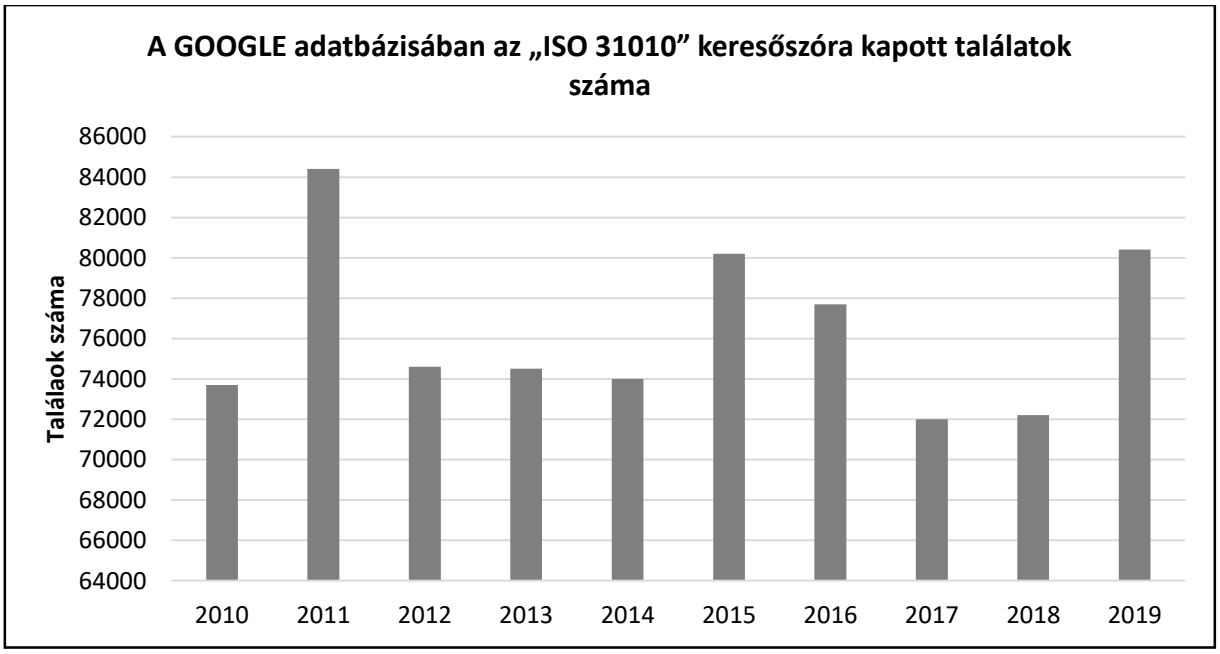
- általános előírásokat követően
- az eljárások kiválasztási folyamatainál követendő elvek, meggondolások kerülnek kifejtése, amelyben helyet kapnak a
- források hozzáférhetősége mellett a
- bizonytalanságok jellege és mértéke, az eljárás
- bonyolultsága és a
- kockázatfelmérés alkalmazása a különböző életciklusszakaszok során és maguk a
- kockázatfelmérési eljárások.

A 31 különböző eljárás mindegyikét

- elemzi röviden azzal, hogy egy rövid áttekint ad, javaslatot tesz a alkalmazás területére, megadja a szükséges
- bemeneteket, leírja az alkalmazás, végrehajtás
- folyamatait, közli a
- kimeneteket és elemzi az
- erősségeket, valamint a korlátokat.

A 31010-es szabvány ilyen szempontok szerint is összehasonlítja a különböző eljárásokat, amelyek az ***ötletbörzétől*** – a „bow - tie" (csokor-nyakkendő) típusú elemzésen át a ***többkritériumos döntéselemzésig*** igen széles tartományt fednek le.

A 31010 szabvány találati idősora a GOOGLE adatbázisban keresve a 76.ábrán látható. Szembeötlő, hogy a megjelenésének évét követően, 2011-ben megugrott az érdeklődés iránta.

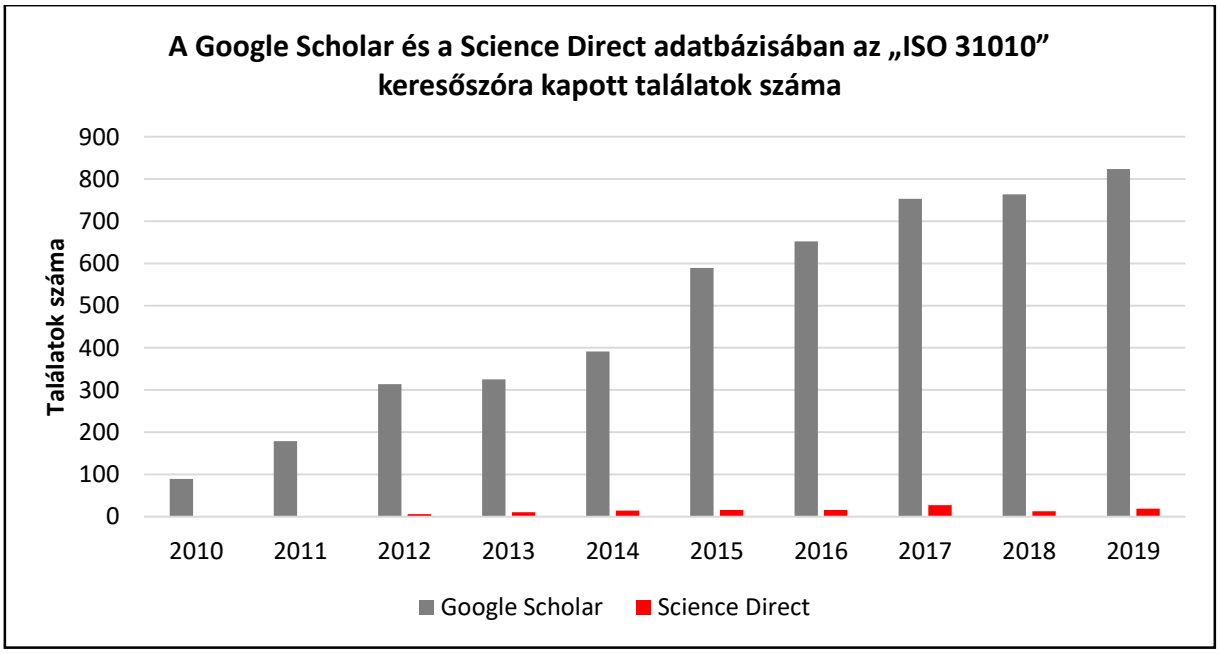


76. ábra: A GOOGLE adatbázisában az „ISO 31010" keresőszóra kapott találatok száma

A 2018. évi módosítást követően újból jelentős érdeklődés tapasztalható, már a 2019-es esztendőben is. Sokkal egyértelműbb azonban a szabványhoz kötődő tudományos munkák, publikációk számának alakulása. A GOGLE Scholar adatbázisában talált adatok szerint a témához kötődő publikációk, tanulmányok száma folyamatosan és erőteljesen növekedik. A Science Direct adatbázisában található információk száma meglehetősen szegényes.

Az ISO 31000 és 31010 szabványok szinte együttes megjelenése olyan környezetet teremtett a mindennapi élet egyes területeire, hogy szinte azonnal kidolgozhatók lettek a szabványaik. Mert mit is kellett tenni? A célt megfogalmazni, a rendszert definiálni, a „lépéseket" és azokat veszélyeztetető tényezőket felmérni…. és ez folytatható, mint ahogyan erre már többször is hivatkozás történt. Ilyen példának tekinthető az ISO 31022 – Guidelines for Implementation of Enterprise Legal Risk Management, az utazási irodák szervezetére vonatkozó ISO 31030 – Risk Management – Manging Travel Risk – Guidence for Organisation, a hirtelen felmerülő kockázatok rugalmas kezelésének metodikáját segítő ISO 31050 – Guidance for Mamaging Emerging Risk to Enhance Resilince.

Az ISO szabványokat előkészítő közösség olyan csoportot szervezett, amely teljes erejével, kompetenciájával a „kockázatalapú szemlélet" térhódítására törekszik minden olyan területen, ahol jól körül határolható „folyamatok" mennek végbe, és „egyértelmű célok" definiálhatók.



77. ábra: A Google Scholar és a Science Direct adatbázisában az „ISO 31010" kereső-szóra kapott találatok száma

7 Műszaki területeken alkalmazható szabványok

7.1 API 581A petrolkémiai ipar kockázatalapú felülvizsgálati rendszere

Egy szabvány – különösen, ha az ráadásul még egy adott ipari szegmenshez is kötődik – részletes bemutatása csak akkor indokolt, ha szigorúan a kiválasztott témakör oktatásához, továbbképzéséhez kötődik. Ennek oka az, hogy az oktatás kapcsán akár a legkisebb nüánszokra is fel lehet (vagy fel kell) hívni a figyelmet. Hogy most, mégis a tananyag egy fejezetében e szabvány rövid áttekintése is megtörténik, azt az indokolja, hogy *jó értelemeben* vett „állatorvosi lónak" tekinthető, mind létrejöttét, mind pedig tartalmát tekintve.

Az olaj- és gázipar a világ gazdaságában meghatározó szerepet tölt be azáltal, hogy az alapenergia döntően ebből a forrásból származik. Ez teljes mértékben igaz, még akkor is, ha a földtörténet milliókban mérhető évei alatt is jött létre a nyersolaj és a gáz, de alig több mint egy évszázados felhasználást követően már csupán jól belátható távlatokig szolgálhatja az emberiség alapenergia-forrását. A most becsülhető felhasználási trendek, a mai kitermelési technológiák, ismeretek birtokában egy ma születendő gyermeknek szembe kell nézni azzal a problémával, hogy az olajra, mint az alapenergia forrására, életének minden szakaszában már nem számíthat. Egy 80 év „emberöltővel" számolva, két generáció múlva a gáz is hiányozhat az emberiség mindennapjaiból, azaz „pestiesen szólva: gáz lesz!!".

A gáz- és olajiparban a mindennapi élet költségeihez mérve „rettenetesen nagy pénzekről" lehet beszélni mind a termelés (annak biztonsága), mind pedig a bevételek és az estleges katasztrófák kapcsán. Ez utóbbira egy példa, Deepwater Horizon (mélytengeri fúrótorony) katasztrófája 2010. áprilisában. Az okozott kár nagyságrendje több, mint 50 Mrd USD, 176.100 km^2 olajszennyezés a Mexikói Öbölben. Nyilvánvaló, hogy e területen igen éles konkurenciaharc folyik, akár a legkisebb piaci szegmensek birtoklásáért is. Ennek ellenére, az iparág biztonságához direkt módon kötődő kockázatalapú szemlélet kialakítására már 1993-ban (!) 16 résztvevővel clustert alakítva, projektet indítottak azok a cégek, amelyek a piacon egymással kíméletlen versenyt folytatnak. A 16 szponzorral indított projekt 1988. októberére 23-ra növekedett, és 5 év alatt meghaladta 1 millió USD-t. A DET Norske Veritas (USA központtal) vezetésével többek között a következő cégek is résztvevők voltak: Sheel, Exxon, Texaco, Mobil, Fina, Arco, Chevron, Petro-Cnada, Sun, Conoco, BP, Phillips,…. Minden résztvevő számára nyilvánvaló volt, hogy a vállalati „profit-centrum" az üzemeltetési biztonságot szolgáló „megelőző karbantartás" (preventív maintenance), amely a folyamatok biztonságos végrehajtását garantáló „folyamatos karbantartás", és a periodikus leállásokhoz kötődő „felülvizsgálatok" területéhez kötődik. E két témakört érinti még a változó piaci igények által generált „készenléti állapot – készreállás - szintje" is, azaz: ha a piaci igény növekszik, milyen feltételrendszerrel, milyen idő alatt futhat fel a „pihentetett" eszközrendszer termelése.

A piacvezető cégek szakembereinek ismeretanyaga, tapasztalata, lehetővé tette, hogy a kockázatalapú felülvizsgálat (Risk Based Inspection) első szabványtervezete már 1995 áprilisában elkészült. AZ API (American Petroleum Institute) 1996 júniusában már API 581 elnevezéssel publikálta. A javított első kiadás 1999-ben látott napvilágot. Az korrigált első kiadás 2000-ben jelent meg. Ezt követte a 2008-ban napvilágra került második változat, majd 2016-

ban a harmadik kiadás, ennek 1. számú függeléke 2019-ben, és a 2. sz függelékkel 2020-ban egészült ki. Az iparág meghatározó módon nyomástartó edényeket, csővezetékeket, kemencéket használ a legkülönbözőbb üzemeltetési körülmények között, nagyon eltérő hőmérsékleti, nyomás és közegek tekintetében egyaránt. A teljes mintegy 650 oldal terjedelmű dokumentum bemutatása nem lehet cél. Áttekintését a főfejezetek címei segíthetik. Ezek a következők:

- Bevezetés
- Érvényesség
- **Kockázatelemzés**
- **Minőségi RBI elemzés**
- **A mennyiségi RBI elemzés áttekintése**
- **Következmény elemzés**
- **Valószínűség elemzés**
- **A felülvizsgálati program kidolgozása a kockázat csökkentése érdekében**
- Üzemi adatbázis felépítése
- **Technikai (károsodási mechanizmusok) modulok**

A fő fejezetek címei is meggyőzően mutatják azt a szakmai gerincet, amelyet a szabvány reprezentál. Azt, hogy az adott iparág, adott szektorában, folyamataiban mit takar a „kockázatelemzés” az adott **szakemberek-teamjei** tisztában vannak. Többnyire a „minőségi RBI elemzést” is el tudja végezni az adott szakembergárda, azaz a készülékek az 51. ábra szerinti „alacsony – közepes -magas” kockázatú kategóriákba sorolása nem jelenthet gondot számukra. A szabványalkotás szempontjából kritikus elem a „Minőségi RBI elemzés”, mert ebben az esetben már számokra van szükség, mégpedig meghibásodás valószínűségére (LOF – Likehhod of Failure). A szabvány felépítésében egy, az iparág adott elemére (csővezeték, nyomástartó edény, ..) jellemző meghibásodási valószínűségből indul ki, ezt tekinti átalános meghibásodási valószínűségnek. Majd ezt az értéket módosítja, a berendezés sajátosságait figyelembe vevő tényezővel az un „berendezés faktorral” és a menedzsment felkészültségét jellemző tényezővel. E gondolkodásmódot szemlélteti a 78. ábra

78. ábra: A minőségi kockázatelemzés alapgondolatai az API 581-ben

A berendezés módosítási faktor a következőket veszi figyelembe:

- Az adott típusú károsodás sebességét és az alkalmazott
- vizsgálat hatékonyságát.
- Univerzális részfaktorokat, mint
    - telehely feltételeit, adottságait és a
    - különleges időjárási körülményeket (hideg, forró, trópusi, ..) szeizmikus aktivitások.
- Mechanikai rész-faktorokat, mint
    - berendezés komplexitása, bonyolultsága, a
    - gyártási szabvány minősége, a
    - tervezett élettartam, az
    - alkalmazott biztonsági tényezők, a
    - rezgés monitorozása stb.
- Folyamat rész-faktor, a mely tekintettel van arra, hogy
    - folyamatos az üzemeltetés vagy csúcsüzemként használják, ill.
    - milyen az üzemeltetés, üzemvitel stabilitása, és milyenek
    - biztonsági szelepek.

A felülvizsgálat hatékonysága azt jelenti, hogy az üzemeltetés során bekövetkező károsodási folyamat a választott és a felülvizsgálat során használt eszközrendszerrel mennyire megbízható információkat nyújthat a károsodás mértékéről, annak detektálhatóságáról. Erre nézve a következő öt kategóriát definiálja:

- **A:** A valós károsodási állapot nagyon megbízhatóan detektálható az adott vizsgálati technikával (>80%)
- **B:** Általában megbízható (>70%)
- **C:** Elégségesen megbízható (~50%)
- **D:** Rossz megbízhatóságú (~33%)
- **E:** Nem megbízható (< 30%)

A szabvány kiterjed a következő károsodási folyamatokra:

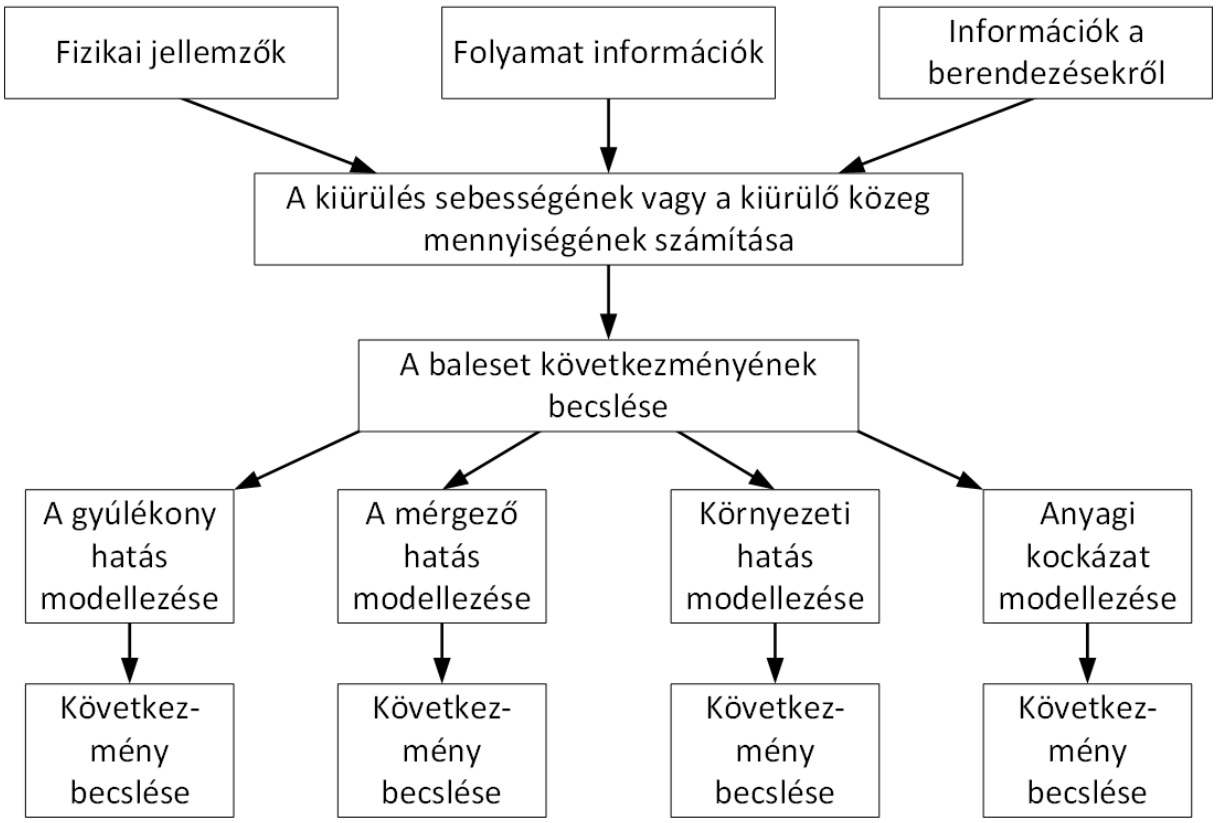
- Korrózió és ezen belül
    - szigetelés alatti korrózió
    - atmoszférikus korrózió
    - hidrogénklorid (HCl) korrózió
    - magashőmérsékletű szulfid és nafténsav korrózió
    - magashőmérsékletű H2S/HS/H2SO4 korrózió
    - hidrogénfluorid korrózió
    - CO2 korrózió
    - amin korrózió
    - magashőmérsékletű oxidáció
    - talajkorrózió
    - hűtővíz korrózió

    - savanyú víz korrózió
- Feszültségkorróziós repedés és ezen belül
    - lúgridegség
    - amin feszültség korróziós repedés
    - hidrogén indukálta repedés (HIC)
    - szulfid feszültségkorróziós repedés (SSC)
    - feszültségorientált, hidrogén által indukált repedés (SOHIC)
    - hidrogén nyomása okozta repedés (HSC-HF)
    - politionsav feszültségkorróziós repedés (PTA)
    - klorid feszültségkorróziós repedés (Cl-SSC)
    - karbonátos feszültségkorróziós repedés
- Magashőmérsékletű hidrogénkorrózió
- Mechanikai hatások és ezen belül
    - erózió
    - alacsony hőmérsékletű ridegtörés
- Metallurgiai hatások és ezen belül
    - kúszás
    - kifáradás
    - megeresztési elridegedés
    - 475 0C-os törékenység
    - σ-fáziskiválása okozta elridegedés.

Az így kialakított technika modulokra az jellemző, hogy

- a korrózió sebességére, illetve a valószínűsíthető repedésképződéssel járó károsodási (feszültségkorróziós, illetve mechanikai) mértékre konzervatív becslést adnak,
- a felülvizsgálati tevékenység hatékonyságának értékelése azon alapul, hogy figyelembe veszi a mért/detektált károsodási mérték eltérő megbízhatóságát, az alkalmazott vizsgálati technika és kiterjedés függvényében.

Az esetleges meghibásodások, katasztrófák felmérésének logika sémája látható a 79. ábrán.



79. ábra: A következményelemzés folyamatának lépései

A meghibásodás anyagi következményei az alábbiak szerint vehetők figyelembe:

A meghibásodások anyagi vonzata =
= Leállítási és újraindítási költségek + A termelés kiesés költségei +
+Javítási költségek + Tartalék alkatrészek költségei +
+Másodlagos javítási költségek + Anyagköltség +
+ Közvetett költségek

Amennyiben az 5x5 -ös kockázati mátrixban gondolkodunk, akkor a következmények minőségi kategóriái a következők:

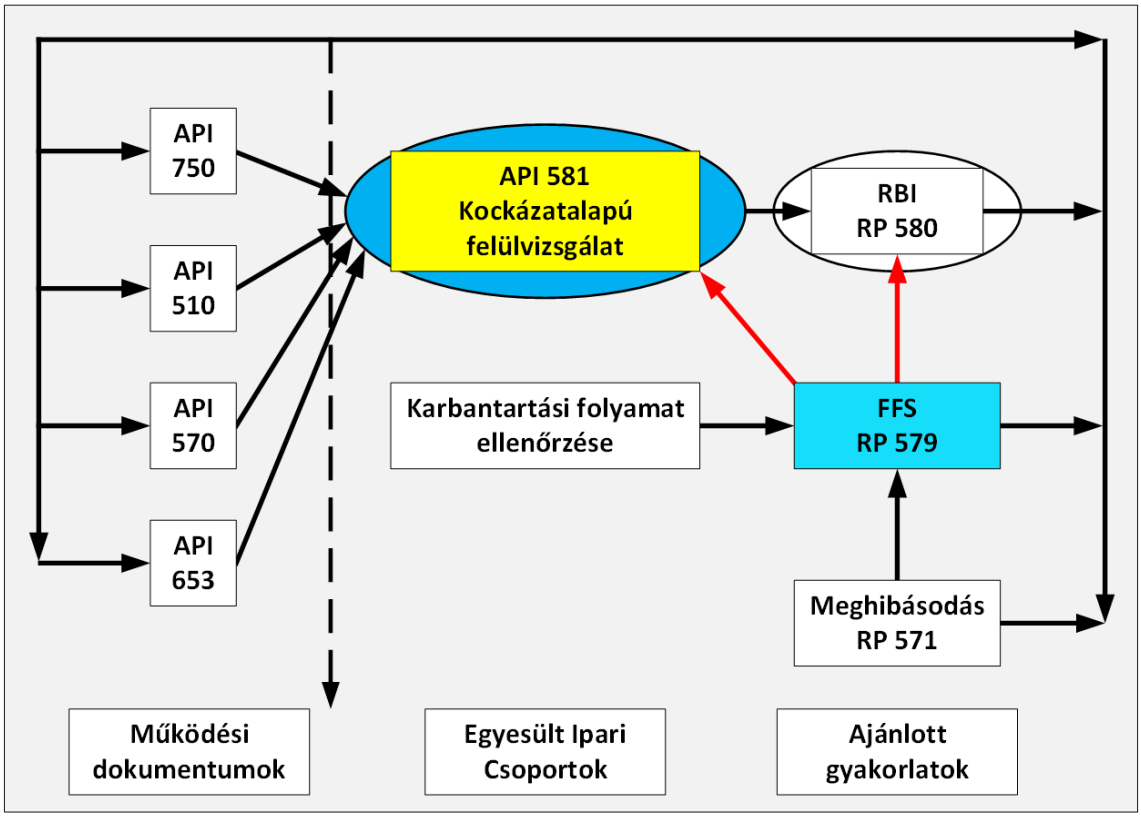
- korlátozott számú közeg volt csak elérhető,
- új közeg hozzáadása magas költségekkel járt,
- az alacsony következményekkel járó közegek nem voltak elérhetőek (levegő, nitrogén, stb.),
- a gyulladás valószínűsége konstans volt, és nem függött a kiürült anyag mennyiségétől,
- csak egyszerű fázisok voltak alkalmazhatók, nem voltak kétfázisú vagy kevert közegek.

Az API 581 egyik legnagyobb erénye a 80. ábrán látható, azaz olyan központi jellegű szabvány, amelyhez közvetlenül kapcsolódnak következő, a

- rendszer működését, működtetését meghatározó szabványok, mint

- API 510 Pressure Vessel Inspection Code: Maintenance Inspection, Rating, Repair, and Alteration, Eight Edition, June 1997, Addendum 1, December 1998, Addendum 2, December 2000, Addendum 3, December 2001
- API 653 Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction. Third Edition, December 2001.
- API 750 Management of Process Hazards, Process Safety Management for Onshore, First Edition, February 1990.
- API 570 Piping Inspection Code, Inspection, Repair, Alteration, and Re-rating of In-service Piping Systems Second Edition, October 1998, Addendum 1, February 2000, Addendum 2, December 2001.

- a rendszer biztonsági felméréséhez kötődő ajánlott legjobb gyakorlatok előírásai, mint
  - API 571 Recommended Practice, Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry. First Edition, December 2003
  - API 579 Recommended Practice, Fitness for Service, First Edition, January 2000
  - API 580 Recommended Practice, Risk-Based Inspection, First Edition, May 2002

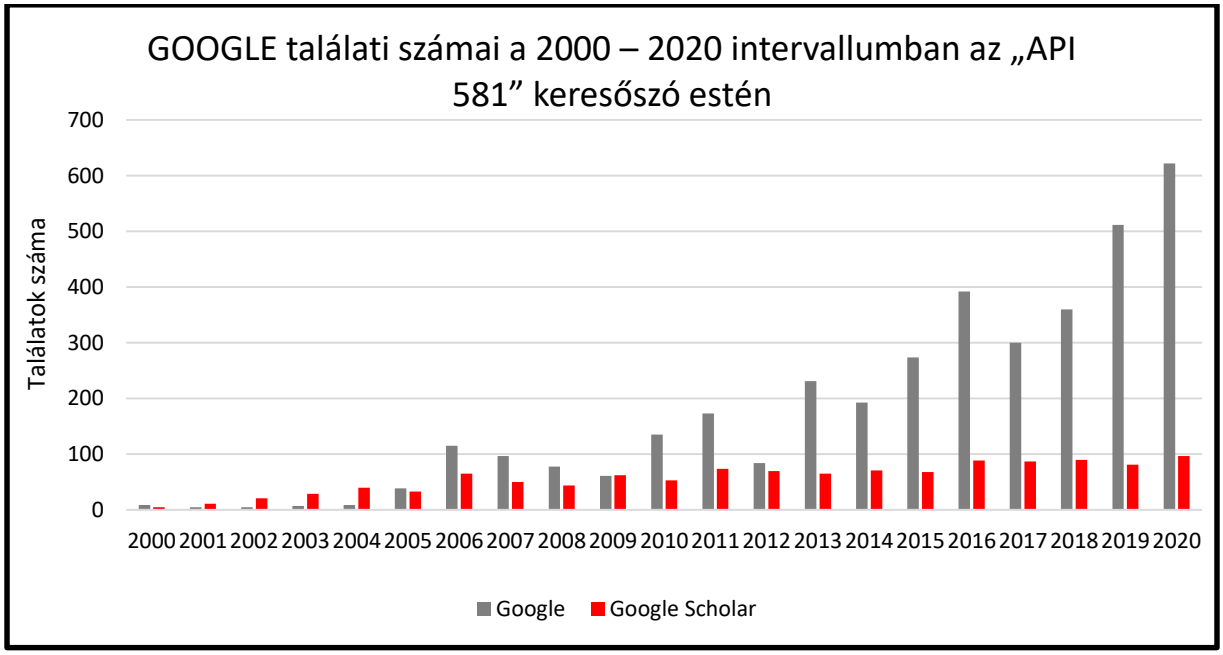


80. ábra: Az API szabványok strukturális és rendeltetési kapcsolatrendszere

Ha világ gazdasági húzóágazatára kidolgozott RBI szabványt, annak erényit, szavakkal, rövid kifejezésekkel kellene jellemezni, akkor ezek a következők lehetnek:

- azonnal megkezdett (1993),
- példátlan összefogással megvalósított,
- folyamatosan monitorozott és fejlesztett,
- az iparág központi szabványává lett

példaértékű munka, amelynek szerepe az olaj- és gázipar működésében a „profit-centrum" szerep hatékonyságát döntően növelte. Ennek „láthatósága" folyamatosan növekszik a különböző INTERNET-es adatbázisokan is. Ezt szemlélteti a 2000 – 2020 intervallum „API 581" keresőszóra kapott találatok száma, ami a 81. ábrán látható. A tudományos munkákat tartalmazó GOOGLE Scholar találati számai is monotonon növekszenek. Egy valós idejű GOOGLE keresés eredménye az „API 581" kifejezéssel 23 600 000 /0.32 sec.



81. ábra: GOOGLE találati számai a 2000 – 2020 intervallumban az „API 581" keresőszó estén

7.2 EN 16991:2018 és megjelenésük a CEN tagországaiban

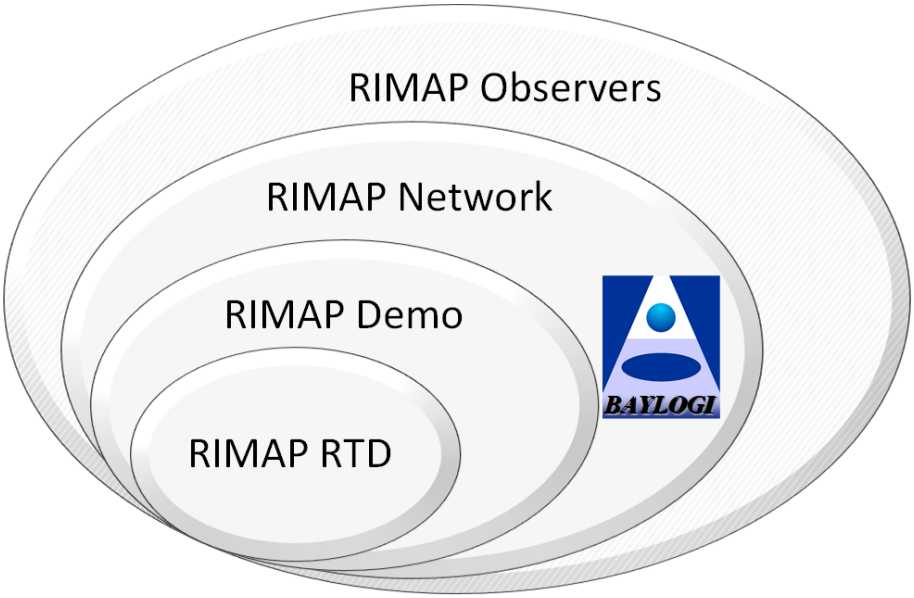
A DET Norske Veritas (európai csoportjának) vezetésével sikeres projekt indult 2001 márciusában a kockázatalapú szemlélet európai bevezetésére is „Risk Based Inspection and Maintenance Procedures for European Industry - RIMAP" (2001-2004) címmel az 5. Kutatási Keretprogram finanszírozásával.

A RIMAP projekt 3 részből áll:

1. K+F projekt – célja a kockázat alapú karbantartási stratégia bevezetéséhez kapcsolódó európai dokumentumok, szabványok és előírások kidolgozása, 17 EU partner résztvevő vel.
2. Demonstrációs projekt – célja a kidolgozott metodika bevezethetőségének az ellenőrzése.

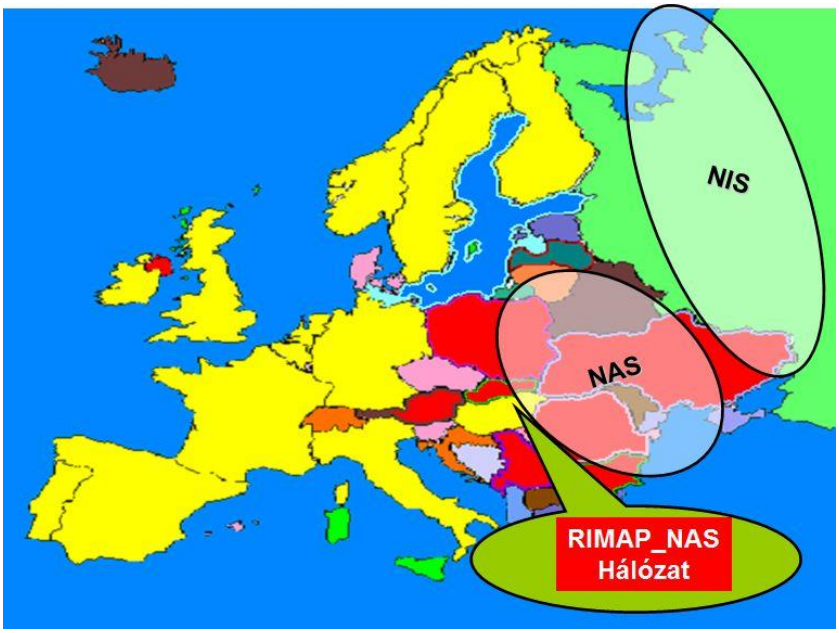
3. Hálózat – célja a szemlélet terjesztése, a módszerek ipari alkalmazásának elősegítése, bevezetése a különböző európai országokban. (35 résztvevő). E hálózat bővült mintegy 20 ország megfigyelőivel.

A projekt struktúráját szemlélteti a 82. ábra. A projektnek egyetlen magyar résztvevője, az első hazai non-profit K+F struktúra képviselője volt. A RIMAP projekt demonstrációs részének vezetője (MPA Stuttgart) a BAYLOGI-val közösen megszervezte a RIMAP-NAS projektet az EU-hoz újonnan csatlakozó országok (New Associated Countries) részvételével. Az így kialakult hálózat számottevően bővült, és a volt „keleteurópai" országokra is kitejedt.



82. ábra: A RIMAP projekt struktúrája

Ezt az új hálózati helyzetet szemlélteti a 83. ábra.



83. ábra: A RIMAP (sárga) és a RIMAP-NAS (piros) hálózatok összekapcsolása az MPA Stuttgart és „BAYLOGI" szerződéseivel

A RIMAP projekt sikeresen záródott, a résztvevők által összeállított kiadványokkal (RIMAP Application Workbooks). Ezek külön-külön figyelembe vették az iparági sajátosságokat. Így útmutató készült a vegyipar, a hőerőművek, az olajfinomítók és a kohászat témaköreire. Ezek szolgáltak az európai szabványosítási folyamatoknak, amelyek a CWA 15740:2008 szabvány-javaslatban láttak napvilágot. Majd 2011-ben és 2014-ben végrehajtott javításokat követően, a vegyipari és olajfinomítói témakörben 2018 áprilisában megjelent az első olyan európai szabvány, amely a kockázatalapú felülvizsgálatoknál alkalmazható. Ez volt az EN 16991:Risk Based Inspection Framework – RIFB szabvány. Az európai szabványosítási szervezet 34 tagállama közül napjainkra már 9 ország a szabványosítási szervezetén keresztül az adott ország nyelvén is publikálta. Sajnos hazánk ezt még nem tette, holott a legnagyobb finomítójában már bevezetésre került e koncepció a finomító elemeinek periodikus felülvizsgálatában. A projekt indítása kapcsán felmerült főbb elvárások a következőkben lettek összefoglalva:

- A nem tervezett leállások száma csökken.
- A bevétel növekszik 30-40%-al.
- A javítási költségek kb. 10%-al csökkennek.
- A biztonság szintje növekszik.
- A felülvizsgálatok periódusa 6-18 hónappal növekszik.
- A berendezések hatásfoka javul.
- Az üzemek aktuális „képe” javul.
- A biztosítási költségek csökkennek.

A munka terjedelme a következő számokkal jellemezhető:

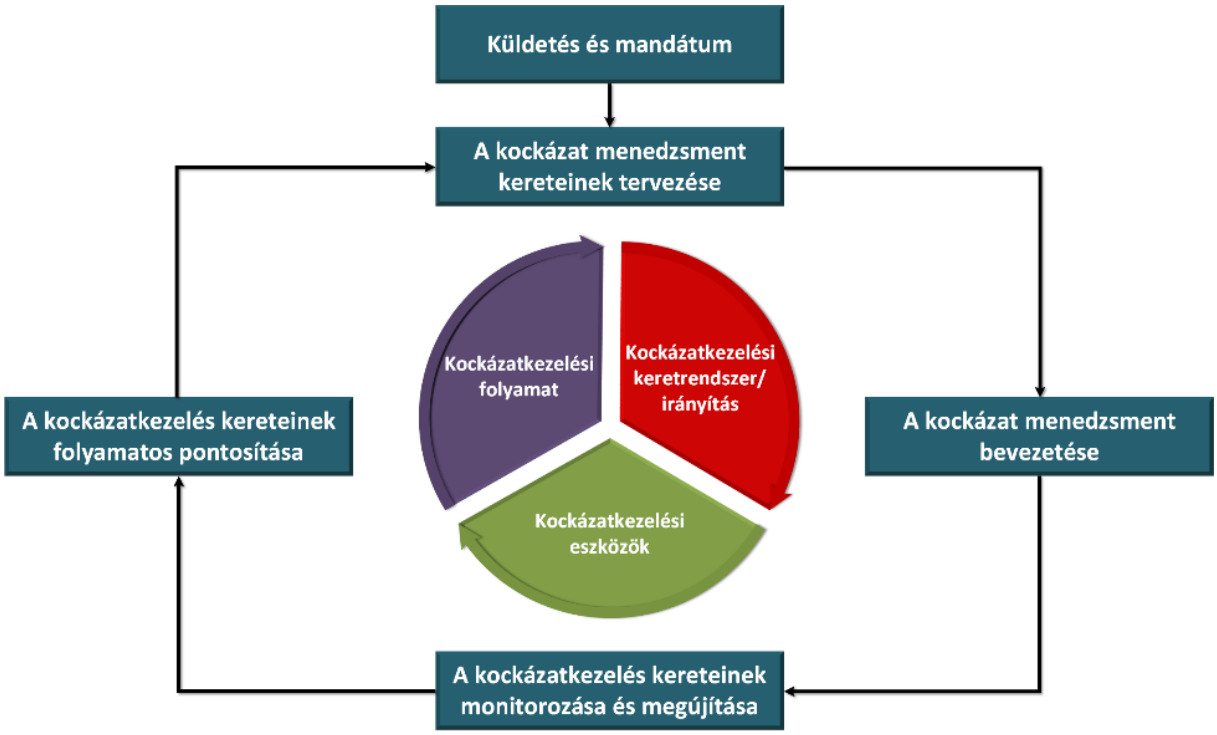
- 62 blokkra terjed ki, ami
- 3200 (kb.) nyomástartó edényt foglalt magába. A feldolgozott
- dokumentumok száma kb. 3200x200 oldal = $6{,}4 \times 10^5$ oldal. Ezekből, mint „papír-alapú” adatbázisból,
- az elektronikus adatbázisba került kb. 3200x1000 adat = $3{,}2 \times 10^6$ adat.
- Elkészültek a készülékek és csővezeték-szakaszok (mintegy 40.000) RCM és RBI elemzései (alapszintű és részletes).

Visszatérve az EN 16991 szabványra az iparági sajátosságai miatt nem célszerű részleteit taglalni, de az mindenképpen kijelenthető, hogy struktúrájában és az API 581 felépítésében a hasonlóság fellelhető, még akkor is, ha az API terjedelme meghaladja a 600 oldalt, az EN 16991 pedig a 100 oldal terjedelemhez közelít. Röviden a főbb fejezetek a következők:

- Témakör, cél
- Normatív anyagokhoz való csatlakozás (érintett területek)
- Fogalmak és definíciók
- Az RBI koncepció alapelvei
    - RBIF követelményei
    - RBIF helye, szerepe a menedzsment rendszerében
    - Viszonya az egyéb, alkalmazott elvekkel
- Az RBFI folyamata

    - Kiinduló elemzések és tervezések
    - Követelmények, feltételek
    - Bemenetek, bemenő adatok
    - Eljárásmód
    - Kimenetek, eredmények
    - Figyelmeztetések és alkalmazhatósági határok
- Adatgyűjtés és ezek ellenőrzése (validálása)
- Többszintű kockázatelemzés
- Folyamat végrehajtása
- Jelentés készítése
- Eljárás áttekintése, monitorozása és korrekciója (mint örökzöld folyamat)

A szabvány nagy előnye az, hogy gyakorlati példák kidolgozásával illusztrálja azokat a lépéseket, amelyeket az előzőkben ismertetett tartalomjegyzékben megfogalmazott. A lelendő szabványalkalmazóknak talán az is eligazítást adhat, hogy a mintegy 100 oldal terjedelmű szabvány majdnem pontosan felében a példák kidolgozásával foglalkozik. Igen hasznosnak ítélhető, hogy a kockázatkezelés sokszor emlegetett, 84. ábrán kissé másképpen ábrázolt sémájának gyakorlati kitöltése miképpen jeleníthető meg.



84. ábra: A kockázatmenedzselés általános sémája.

Irodalomjegyzék

[1] Pusztai Ferenc (főszek.) (2003) Magyar Értelmező Kéziszótár, Budapest: Akadémiai Kiadó. 1507 p. ISBN: 963-05-8024-1

[2] Szabó B. (2021) Ifjan-Éretten-Öregen. Beszélgetőtárs. Tóth László.

[3] Ponomarjov, Sz. D. et al. (1963) Szilárdsági számítások a gépészetben. 1. kötet. Elméleti alapok, vizsgálati módszerek. Budapest: Műszaki Könyvkiadó. 399. p.

[4] Sih G. (1973) Handbook of stress-intensity factors: stress-intensity solutions and formulas for reference. Leigh University, Institute of Fracture and Solid Mechanics.

[5] Sih G. (1977) Plates and shells with cracks: a collection of stress intensity factor solutions for cracks in plate and shells. Noordhoff International.

[6] Tada H, Paris P.C., Irwin G.R. (1973) The Stress Analysis of Cracks Handbook. Del Research Corp., Hellertown, Pa., U.S.A.

[7] Rooke D.P., Cartwright D.J. (1976) Compendium of Stress Intensity Factors. Her Majesty′s Stationery Office, London.

[8] Murakami Y. (szerk.) (1986-2001) Stress Intensity Factors Handbook. Pergamon Press.

[9] Aliabadi M.H. (1996) Database of Sress intensity Factors. Computational Mechanics Publications.

[10] Panasyuk V.V., Szavruk M.P. (1988) Fracture Mechanics abnd Strength of Materials. Volume 2. Kiev.

[11] Wu X. R., Carlsson a. J. (1991) Weight Functions and Stress Intensity Factors Solutions,. Pergamon Press. Oxford.

[12] Fett T., Munz D. (1977) Stress Intensity Factors and Weight Functions. International Series On Advances in Fracture. Wessex Institute of Technology. Computational Mechanics Publications.

[13] Tóth L. (2012) A törésmechanika modelljei és azok alkalmazásai, Anyagvizsgálók Lapja. 22 (2-3) pp. 27-42.

[14] Cserepanov G. P. (1974) Mehanika hrupkogo razrusenije. Nauka, Leningrád. 640p

[15] Rice J. R. (1968) A path-independent integral and the approximate analysis of strain concentration by notches and cracks, Journal of Applied Mechanics. pp. 379-386.

[16] Bosznay Á. (1963) Műszaki rezgéstan. Budapest: Műszaki Könyvkiadó. 398 p.

[17] Ponomarjov, Sz. D. et al. (1966) Szilárdsági számítások a gépészetben. 6. kötet. Rezgések, ütések. Budapest: Műszaki Könyvkiadó. 420 p.

[18] Kármán T., Biot A. M. (1967): Matematikai módszerek műszaki feladatok megoldására. Budapest: Műszaki Könyvkiadó. 370 p.

[19] Rossmanith P., Tóth L. (1999) Műszaki hibák és a törvényszéki műszaki tudományok, Miskolc: Miskolci Egyetem.

[20] Faria L. (1991) The Economic Effects of Fracture in Europe. Final Report No 320105 to The European Atomic Energy Agency. Commission of the European Communities.

[21] Czoboly E. (1986) Fémek és szerkezetek törése. Budapest: Gépipari Tudományos Egyesület. pp.48-141.

[22] Jones R. B. (1995) Risk-based Management. A Reliability-Centred Approach. London: Gulf Publishing Company.

[23] Smith D. J. (2000) Reliability Maintainability and Risk. Practical Methods for Engineers including Reliability Centred Maintenance Safety-related Systems. Butterworth.
[24] Wireman T. (1990) World Class Maintenance Management. Industrial Press Inc.
[25] Wireman T. (2003) Maintenance Management and Regulatory Compliance Strategies. Industrial Press.
[26] Andrews J. D., Moss T. R. (2002) Reliability and Risk Assessment. London: Professional Engineering Publishing Limited.
[27] Smith A. M. at all (2004) RCM- Gateway to World Class Maintenance. Elsevier.
[28] Levitt J. (2004) Managing Maintenance Shutdowns and Outages. Industrial Press Inc.
[29] Megill R. E. (1992) An introduction to Risk Analysis. PenWell Company.
[30] Haimes Y. Y. (1998) Risk Modelling, Assessment, and Management. John Wiley and Sons Inc.
[31] Vajda Gy. (1998) Kockázat és biztonság. Budapest: Akadémiai Kiadó.
[32] Hansen R. C. (2001) Overall Equipment Effectiveness. Industrial Press Inc.
[33] Narayan V. (2004) Effective Maintenance Management. Risk and Reliability Strategies for Optimizing Performance. Industrial Press Inc.
[34] Surface Vehicle/Aerospace Recommended Practice, SAE Ja1012. Issued 2002-01. The Engineering Society for Advancing Mobility Land Sea Air and Space, INTERNATIONAL. USA.
[35] Risk Based Inspectionm Base Resource Document, API 581. First Edition, May, 2000.
[36] Trampus P. (2008) A reaktortartály biztonságának elemzése. Fizikai Szemle. 58(9) pp. 287-292.

Ábrák elkészítéséhez használt illusztrációk forrásai

40. ábra:

- https://pixabay.com/hu/vectors/fogaskerék-cog-beállítások-gép-295455 Letöltés időpontja: 2021.01.02.
- https://pixabay.com/hu/vectors/szerszámok-beállítások-rendszer-98391 Letöltés időpontja: 2021.01.02.
- https://pixabay.com/hu/illustrations/fehér-férfi-3d-modell-izolált-3d-2064870 Letöltés időpontja: 2021.01.02.
- https://pixabay.com/hu/vectors/ amigos-számadatok-hardver-anya-2024565 Letöltés időpontja: 2021.01.02.
- https://pixabay.com/hu/illustrations/ munka-terv-telek-épület-építész-3480187 Letöltés időpontja: 2021.01.02.

41. ábra:

- https://pixabay.com/hu/vectors/fogaskerék-cog-beállítások-gép-295455 Letöltés időpontja: 2021.01.02.
- https://pixabay.com/hu/vectors/szerszámok-beállítások-rendszer-98391 Letöltés időpontja: 2021.01.02.
- https://pixabay.com/hu/illustrations/fehér-férfi-3d-modell-izolált-3d-2064870 Letöltés időpontja: 2021.01.02.

- https://pixabay.com/hu/vectors/ amigos-számadatok-hardver-anya-2024565 Letöltés időpontja: 2021.01.02.
- https://pixabay.com/hu/illustrations/ munka-terv-telek-épület-építész-3480187 Letöltés időpontja: 2021.01.02.

42. ábra

- https://pixabay.com/hu/illustrations/ munka-terv-telek-épület-építész-3480187 Letöltés időpontja: 2021.01.02.
- https://pixabay.com/hu/illustrations/építész-férfi-építés-mérnök-1417320 Letöltés időpontja: 2021.01.02.
- https://pixabay.com/hu/vectors/óra-karóra-idő-perc-koncepció-46327 Letöltés időpontja: 2021.01.02.
- https://pixabay.com/hu/vectors/helye-térkép-jelző-kék-térkép-156710 Letöltés időpontja: 2021.01.02.

45. ábra:

- https://pixabay.com/hu/vectors/ lakás-design-szimbólum-ikon-www-2126880 Letöltés időpontja: 2021.01.02.
- https://pixabay.com/hu/vectors/lakás-design-szimbólum-ikon-www-2126884 Letöltés időpontja: 2021.01.02.

47. ábra:

- https://pixabay.com/hu/vectors/ hegesztés-munka-hegesztőgép-forró-34259 Letöltés időpontja: 2021.02.04.
- https://pixabay.com/hu/vectors/titkár-telefon-iroda-sziluett-3396516 Letöltés időpontja: 2021.02.04.
- https://pixabay.com/hu/vectors/elemzés-automatizálás-üzleti-férfi-3606761 Letöltés időpontja: 2021.02.04.

53. ábra:

- https://pixabay.com/hu/illustrations/dollar-bankjegy-pénznem-forex-2931882 Letöltés időpontja: 2021.01.02.

54. ábra:

- https://pixabay.com/hu/illustrations/fogaskerék-kerekek-technológia-4014060 Letöltés időpontja: 2021.01.01.
- https://pixabay.com/hu/illustrations/ gyakran-feltett-kérdések-kérdés-mark-685060 Letöltés időpontja: 2021.01.01.
- https://pixabay.com/hu/illustrations/kézművesek-szerelő-sisak-1020156 Letöltés időpontja: 2021.01.01.
- https://pixabay.com/hu/illustrations/költség-megölték-elszámította-magát-1027760 Letöltés időpontja: 2021.01.01.
- https://pixabay.com/hu/illustrations/liège-alvás-meditálni-meditáció-1013899 Letöltés időpontja: 2021.01.01.

- https://pixabay.com/hu/illustrations/irány-el-határozat-cél-directory-2320124 Letöltés időpontja: 2021.01.01.

55. ábra:

- https://pixabay.com/hu/vectors/mérlegek-igazságosság-mérleg-310131/ Letöltés időpontja: 2021.01.02.
- https://pixabay.com/hu/illustrations/dollar-bankjegy-pénznem-forex-2931882 Letöltés időpontja: 2021.01.02.

56. ábra:

- https://pixabay.com/hu/illustrations/dollar-bankjegy-pénznem-forex-2931882 Letöltés időpontja: 2021.01.02.
- https://pixabay.com/hu/illustrations/építők-építőmesterek-építész-1825689 Letöltés időpontja: 2021.01.03.
- https://pixabay.com/hu/illustrations/pénz-euro-profit-pénznem-1015277 Letöltés időpontja: 2021.01.03.

Melléklet „Tóth László: Biztonság – Megbízhatóság – Kockázat” c. egyetemi jegyzetének lektori jelentéséhez

Tóth László egyetemi jegyzetének kézirata jelentős hozzájárulás a mérnök gondolkodásmódja formálásához. A biztonság és a vele kapcsolatos fogalmak középpontba helyezése, valamint a kockázati szempontokat figyelembe vevő gondolkodásnak a megjelenése a döntéshozatalban, elengedhetetlen tulajdonságai korunk gondolkodó mérnökének és felelőssége tudatában lévő vezetőjének. A következőkben néhány gondolatot foglalok össze, amelyek terjedelmi okból nem fértek el a jegyzetben, de talán kiegészítik azt. Az írás elkészítésekor támaszkodtam a tudomány, a technológia és az etika kérdéseit összefoglaló enciklopédiára [1].

Biztonság a mérnöki munkában

Az ember védelme a veszélytől, azaz törekvés a biztonságra a 19. századtól fedezhető fel a mérnöki tevékenységben. Az ipari forradalom időszakában (1750-1850) – mai terminológiával az Ipar 1.0 időszakában – az akkori mérnök első sorban a szerkezet azon képességeire összpontosított, amelyek a funkció ellátásához voltak szükségesek. Ebből a korból James Watt, a gőzgép feltalálója említhető az egyetlen kivételnek, aki – szem előtt tartva az emberi élet védelmét – kérvényt nyújtott be a Parlamenthez a nagynyomású gőzgépek használatának törvény útján történő megtiltására.

A 19. század vége jelentett áttörést, amihez egyértelműen hozzájárult a kazán- és gőzgéprobbanások okozta halálesetek nagy száma. Innen kezdve nemcsak a mérnöki tervezési és gyártási eljárások egészültek ki a biztonságra törekvés szempontjaival, hanem kormányzati kezdeményezésre a mérnök szervezetek megkezdték a biztonsági kódok és szabványok kidolgozását, valamint elkezdődött a szisztematikus tudományos kutatás is a biztonság növelése érdekében. A mérnök szervezetek a biztonságot a mérnöki munka legfontosabb etikai pillérévé nyilvánították. A mérnöki tevékenységen belül is kialakultak biztonságközpontú területek, mint a tűzvédelmi mérnöki, a közlekedésbiztonsági mérnöki vagy egyszerűen az ipari biztonsági mérnöki terület.

A tervezési és üzemeltetési biztonság módszerei

A tervezési biztonság legalapvetőbb eleme az inherens biztonság érvényesítése. Ez azt jelenti, hogy a tervező kizárja a potenciális veszélyforrásokat, a helyett, hogy azok ellenőrzés alatt tartásáról gondoskodna. Ez nem mindig egyszerű, mert a veszélyforrás gyakran a rendszer alapvető eleme (pl. radioaktív sugárzó anyag jelenléte atomerőmű esetében) vagy, mert a termelékenység vagy a költséghatékonyság inkább az ellenőrzött veszélyforrást részesítené előnyben annak teljes kizárásával szemben.

A tervezési biztonság másik fontos eszköze a biztonsági tartalékok beépítése. Biztonsági tartalék alatt a biztonsági tényezőt (*safety factor*) vagy a biztonsági tartományt (*safety margin*) értjük. A mérnöki gyakorlatban a következő esetek ellensúlyozására alkalmaznak biztonsági tényezőt:

- a tervezettet meghaladó terhelés,
- a tervezettnél rosszabb anyagtulajdonságok,

- a releváns károsodási mechanizmus hiányos ismerete,
- esetleges ismeretlen károsodási mechanizmus,
- emberi hiba a tervezésben vagy a számításban (beleértve a matematikai modellek reprezentativitásának a kérdését is).

A felsoroltak közül az első kettő magyarázható a terhek vagy az anyagtulajdonságok sztochasztikus természetével, és leírható valószínűségi eloszlásokkal (vigyázat: elegendő statisztikai adat nem mindig áll rendelkezésre). A további három a bizonytalanság kategóriájába tartozik és nem kezelhető valószínűségi alapon. Elfogadva azt, hogy a „túléléshez" szükséges a szokatlanul nagy terhek elviselésének a képessége, a biztonsági tényező helyes megválasztása egyensúlyt teremt a biztonság és a költségek között.

A negatív visszacsatolás (vagy biztonságos meghibásodás, *safe fail*) tervezési koncepció lényege, hogy a biztonság azt követően is megmarad, hogy a rendszer egy eleme vagy egésze meghibásodott. Ez azt jelenti, hogy a rendszer leállítja önmagát, ha a technológiai paraméterek valamelyike extrém értéket vesz fel vagy az operátor elveszti a kontrollt a rendszer felett. Példa erre a nyomástartó rendszerek biztonsági szelepe, ami megnövekedett nyomás esetén leereszti a közeget a rendszerből vagy a vonatok vezetését segítő biztonsági rendszer, ami leállítja a vonatot, ha a vezető elalszik. Az atomerőművek üzemzavari védelemi leállításai is ezt az elvet követik, azaz vészjelzés esetén operátori beavatkozás nélkül leállítják a láncreakciót. Lényegében negatív visszacsatolás az atomerőművek tervezésének és üzemeltetésének biztonsági filozófiája, a mélységben tagolt védelem (*defence-in-depth*) elve is. Ez az egymásra épülő védelmi rétegek eredményeként több egyidejű műszaki meghibásodás és esetleges emberi tévedés bekövetkezésekor is védelmet jelent a radioaktív sugárzás kibocsátásával szemben.

A biztonság eszköze a többszörös, független fizikai gátak rendszere, Maradva az atomerőmű példájánál, itt a fizikai gátak a következők: az üzemanyag keramikus mátrixa, a fűtőelem burkolata, a reaktor hűtőkör berendezései és a konténment. Ha ezek közül egy meghibásodik (tömörtelenné válik), akkor a többiek betöltik funkciójukat. A független fizikai korlátok elmaradásának jó, de egyúttal sajnálatos példája a Titanic katasztrófája, ahol az erős elsődleges fizikai korlát tudatában (ami végül nem igazolódott) a tervező elfelejtkezett a további korlátokról, azaz elegendő számú mentőcsónak biztosításáról.

[1] Encyclopedia of Science, Technology and Ethics (ed. Carl Mitcham), MacMillan Reference, USA (2005)

Dr. Trampus Péter