

Atomerőművi alapok



**Magyar Mérnöki Kamara
Kiadványsorozata 105.**

Atomerőművi alapok

**MMK FAP azonosító:
2023/106-ENT**

Budapest, 2023. október 16.

A sorozat szerkesztője:
WAGNER ERNŐ
a Magyar Mérnöki Kamara elnöke

Készült a Magyar Mérnöki Kamara Energetikai Tagozatának gondozásában, a 2023. évi Feladat Alapú Pályázatok pénzügyi keretéből.

A kiadvány a Magyar Mérnöki Kamara tulajdona. Másolása, teljes terjedelmében való közzététele csak a Kamara engedélyével lehetséges. Minden jog fenntartva.

Szerzők:
Dr. Móga István

Lektorálta:
Boros János

Kiadó:
Magyar Mérnöki Kamara
1117 Budapest, Szerémi út 4.
fap@mmk.hu, www.mmk.hu

ÁTTEKINTŐ TARTALOMJEGYZÉK

1. Vezetői összefoglaló	10
2. Bevezető.....	11
3. Villamosenergia-ellátás és villamosenergia-termelés	16
4. Nukleáris láncreakció és nukleáris villamosenergia-termelés	22
5. Atomreaktorok	25
6. Atomerőművi technológia.....	41
7. Atomerőművi építészeti.....	48
8. Konténment	55
9. Atomerőművi eszközállomány	70
10. A nukleáris energetika ágazat és projektjei.....	74
11. A nukleáris projekt modelljei.....	88
12. Események és következmények.....	93
13. Követelmények és megfontolások.....	99
14. Tervezés.....	111
15. Irodalomjegyzék.....	134
16. Függelék.....	141

RÉSZLETES TARTALOMJEGYZÉK

1. Vezetői összefoglaló.....	10
2. Bevezető	11
2.1. Az atomerőmű létesítés és üzemeltetés modellje.....	11
2.2. Az atomerőművi modell rendszertechnikai megközelítései	11
2.3. Az útmutató felépítése	13
3. Villamosenergia-ellátás és villamosenergia-termelés.....	16
3.1. Energia és energiaellátás.....	16
3.2. Erőmű típusok.....	18
3.3. Erőmű üzem módok	19
3.4. Erőművek teljesítőképessége	20
3.5. Hőerőművek fő folyamatai	20
4. Nukleáris láncreakció és nukleáris villamosenergia-termelés.....	22
4.1. Oklói természetes atomreaktorok.....	22
4.2. Nukleáris létesítmények.....	23
5. Atomreaktorok.....	25
5.1. Reaktorok felhasználási területei	25
5.2. Reaktorok felépítése	26
5.3. Nukleáris üzemanyag	28
5.4. Reaktor típusok.....	30
5.5. Reaktor osztályok.....	33
5.6. Reaktor generációk.....	34
5.7. Reaktor üzemállapotok.....	36
5.8. Reaktorok biztonsága	37
5.9. Reaktorok szabályozása	39
6. Atomerőművi technológia	41
6.1. Atomerőművi rendszerek kategóriái.....	41
6.2. Atomerőművi főberendezések.....	42

6.3.	Az energiatermelő rendszer kialakítása	43
6.3.1.	Kétkörös atomerőművi kapcsolás	44
6.3.2.	Egykörös atomerőművi kapcsolás.....	44
6.4.	A technológia érettsége	45
7.	Atomerőművi építészet.....	48
7.1.	Telephely elrendezés.....	48
7.2.	Általános célú és ipari építmények	49
7.2.1.	Építménycsoportok.....	49
7.2.2.	Ipari építmények	51
7.3.	Atomerőművi építmények.....	52
7.4.	Építési szerkezetek.....	53
8.	Konténment.....	55
8.1.	A konténment rendszerei	55
8.1.1.	A sugárzó anyag visszatartásának funkcionális megoldásai	56
8.1.2.	A konténment rendszer összetevői.....	57
8.1.2.1.	Konténment technológiai rendszer	57
8.1.2.2.	Konténment szerkezeti rendszer	58
8.2.	A konténment szerkezeti rendszer kialakítása	59
8.2.1.	A szerkezet kialakításának technológiai szempontjai	59
8.2.2.	A szerkezeti rendszer összetevői.....	60
8.2.3.	A szerkezetek osztályozó jellemzői.....	61
8.3.	Konténment szerkezeti változatok	61
8.4.	Konténment szerkezeti típusok	63
8.4.1.	Nyomáscsökkentő rendszer szerinti változatok.....	63
8.4.2.	Alak és erőjáték szerinti változatok.....	65
8.4.3.	A Paksi Atomerőmű konténmentje	66
8.5.	Konténment szerkezet izoláló és hermetizáló elemei	68
9.	Atomerőművi eszközállomány	70
9.1.	Vagyongazdálkodás.....	70
9.2.	Atomerőmű eszközei.....	71
9.3.	Atomerőmű fizikai eszközei.....	72
10.	A nukleáris energetika ágazat és projektjei.....	74

10.1. A nukleáris energia alkalmazásának alapelvei	74
10.2. A nukleáris energetika jellemzői	75
10.3. A nukleáris energetikai projekt jellemzői.....	77
10.3.1. Radioaktív anyagok jelenléte	77
10.3.2. Beruházási költségek	78
10.3.3. Költségek alakulása	78
10.3.4. Ember – technológia - szervezet.....	79
10.4. A nukleáris energetika fogalmi rendszere.....	84
11. A nukleáris projekt modelljei.....	88
11.1. Rendszerek rendszere	88
11.2. Életciklus modell	88
11.3. Életciklus folyamatok	91
12. Események és következmények.....	93
12.1. Események okai	93
12.2. Események és eseményhalmazok meghatározása.....	94
12.3. Események biztonságra gyakorolt hatásai.....	96
12.4. Események csoportjai.....	97
13. Követelmények és megfontolások.....	99
13.1. Atomerőművi biztonság összetevői	99
13.2. Nukleáris biztonság és kapcsolódó fogalmai.....	100
13.3. Követelmény meghatározás.....	101
13.3.1. Alapfogalmak és folyamatjellemzők.....	101
13.3.2. Követelményforrások	103
12.3.2. Validáció és verifikáció.....	106
13.4. Atomerőművi követelmények.....	107
13.4.1. Alapvető tervezési követelmények.....	107
13.4.2. Nukleáris követelménycsoportok	108
13.4.3. Projektkövetelmények.....	108
14. Tervezés	111
14.1. Tervezési feladatok.....	111
14.2. Az atomerőmű üzem módjai és üzemállapotai.....	112
14.2.1. Éves üzemeltetési ciklus lefolytatása.....	113

14.2.2. Fűtelem csere lebonyolítása	113
14.3. Tervezési üzemállapotok.....	114
14.4. Építési szerkezet-állapotok.....	117
14.5. A tervezés alapfogalmai.....	118
14.5.1. Általános tervezési alapfogalmak	118
14.5.2. A biztonság tervezési alapfogalmai.....	120
14.6. A tervezés elvi alapjai.....	121
14.6.1. Tervezési alapelvek.....	121
14.6.2. Tervezési elvek.....	123
14.6.3. A mélységben tagolt védelem.....	124
14.6.4. Biztonságos rendszerek tervezési és elemzési alapelvei.....	126
14.6.5. Biztonsági rendszerek tervezési elvei.....	128
14.7. Tervezési módszerek.....	129
14.8. Alapvető normatív dokumentumok	130
14.9. A tervezési folyamat dokumentumai	132
15. Irodalomjegyzék.....	134
16. Függelék.....	141
16.1. Atomerőművi biztonság összetevői.....	141
16.2. A nukleáris energetika jellemzői.....	144
16.2.1. A stratégiai ágazat jellemzői	144
16.2.2. A biztonságkritikus iparág jellemzői	144
16.2.3. Komplexitás.....	145
16.2.4. Minőség.....	146
16.3. Energetikai megaprojekt.....	146
16.4. Rendszertechnika	148
16.4.1. Rendszertechnikai alapfogalmak.....	148
16.4.2. Rendszertechnikai megközelítés.....	149
16.4.3. Rendezett rendszerek.....	152
16.4.4. Különleges rendszerek.....	152
16.4.5. Modellek	154
16.5. Atomerőmű fizikai eszközei.....	156
16.5.1. Vagyongazdálkodási alapfogalmak	156
16.5.2. Fizikai eszközök csoportjai	157
16.6. Atomerőművi építmények.....	162

16.7. Események.....	174
16.7.1. Események áttekintő csoportosítása	174
16.7.2. Engedélyezési eseménykombinációk és eseményhalmazok.....	178
16.8. Atomerőművi követelmények.....	180
16.9. Nukleáris szakmai terület szabályozási dokumentumai	186
16.10. A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség dokumentumai	193

,

1. Vezetői összefoglaló

Az atomerőmű tervezése, megvalósítása és üzemeltetése, a hatósági feladatok ellátása széleskörű, komplex feladat.

Az útmutató a nukleáris energetika főbb összefüggéseinek egyszerűsített leírásával, az atomerőmű rendszereinek ismertetésével, az atomerőmű modelljének egységes és átfogó alapját kívánja megteremteni.

Az összefoglalóban a világon legelterjedtebb, nyomottvizes reaktorról (PWR, pressurized water reactor) felszerelt atomerőművet tárgyaljuk. A szakmai részletek leírásánál az új atomerőmű, a 3. és 3+ generációs atomerőművek jellemzőit vesszük számba.

Az útmutatóban a rendszertechnika rendezés elvét alkalmazzuk. A rendszertechnikai megközelítés előnyének kiaknázásához, a későbbiekben, el kell végezni ennek nukleáris környezetre való adaptálását.

Az atomerőmű szerepének megértése érdekében röviden kitérünk az energiaellátás és a villamosenergia-termelés rendszerének bemutatására.

Számba vesszük az atomerőművi eszközrendszer technológiai és építészeti elemeit, foglalkozunk az üzemeltetés során nagy jelentőséggel bíró vagyongazdálkodással.

A nukleáris energetika tervezési folyamata duális jellegű. A Nukleáris Biztonsági Szabályzatok (NBSZ) a nukleáris biztonsági célok teljesítésével kapcsolatos követelményeket tartalmazzák. E mellett minden szakterületnek figyelemmel kell lenni a saját szakmai követelmények kielégítésére, melyeket a nukleáris követelmények kielégítésével összhangban kell biztosítani.

Végig kísérjük a tervezési folyamatának meghatározó elemeinek definiálását, megadjuk az események és következmények, az üzemállapotok leírását. Ismertetjük a nukleáris vizsgálat és engedélyezés alapjául szolgáló üzemállapotok jellemzőit.

Összegezzük és rendszerezzük a tervezési alapelveket és tervezési elveket, meghatározzuk a lényegesebb normatív dokumentumokat.

A nukleáris energetika és a nukleáris projekt tulajdonságain keresztül ismertetjük más, biztonságkritikus ágazatok tervezési folyamatának részleteit, rendszertechnikai megoldásukat. Az útmutató témáival kapcsolatos részleteket a függelékben gyűjtöttük össze.

2. Bevezető

Az atomerőmű tervezése, építése és üzemeltetése, a hatósági feladatok ellátása komplex feladat. Ezen tevékenységekben a mérnöki és tudományos területek nagyszámú képviselője vesz részt. A közös munka hatékonyságának növelése, és az esetleges szakmai félreértések elkerülése érdekében célszerű megteremteni a nukleáris szakterület, ennek részeként az atomerőmű létesítésének és üzemeltetésének olyan összefoglalását, melyet minden érintett szakma és tudományág képviselője megért és elfogad.

Az útmutató a nukleáris energetika főbb összefüggéseinek egyszerűsített leírásával, az atomerőmű rendszereinek ismertetésével az atomerőmű mentális modelljének egységes és átfogó alapját kívánja megteremteni.

2.1. Az atomerőmű létesítés és üzemeltetés modellje

A közös képnek tartalmazni kell az atomerőmű tervezésével, megvalósításával, üzemeltetésével és leszerelésével kapcsolatos részleteket, általános szinten a kapcsolatos jogi, gazdasági, műszaki és tudományos ismereteket. A cél olyan modell kialakítása, mely a nagymértékben eltérő megközelítéseket, a szakterületi folyamatokat és rendszereket integrálja.

Az atomerőművel kapcsolatos feladatok megoldásánál kettős szempontú megközelítéssel kell dolgoznunk. A nukleáris technológia biztonságos működési feltételei megteremtése és a radiológiai (sugárvédelmi) szempontok kielégítése egyaránt része a munkának. Ezen szempontok érvényesítése a gyakorlatban számos esetben átfedésben van.

2.2. Az atomerőművi modell rendszertехnikai megközelítései

A hatékonyság és a tervezett rendszerek biztonságának növelése szemléletünk megváltoztatását igényli. Szerző véleménye szerint a korszerű, integrált modell a rendszertехnika alkalmazásával építhető fel.

rendszertехnika – system engineering (INCOSE (2020))

transzdiszciplináris és integratív megközelítés, amely lehetővé teszi a tervezett rendszerek sikeres megvalósítását, használatát és kivonását (nukleáris területen a tevékenységet a leszereléssel fogalmával jelöljük), rendszerelvek és -konceptiók, valamint tudományos, technológiai és menedzsment módszerek felhasználásával.

Az elterjedt megfogalmazás szerint a közös munkához multidiszciplináris együttműködés szükséges, a rendszertechnika tudományága azonban ma már más megközelítést tart előnyösnek.

transzdiszciplináris megközelítés - transdisciplinary approach (INCOSE (2020))

a holisztikus megközelítés érdekében átlép az érintett tudományágak határain. A valós problémák és témák megosztott megértése, az együtt tanulás közös célja köré rendezi az erőfeszítéseket.

A megközelítés bármilyen szinten, a komplextől az egyszerűig, a globálistól a személyesig, használható.

Transzdiszciplináris megközelítésre van szükség, ha a problémát nem lehet könnyen „megoldani”, és a legjobb, amit valószínűleg el lehet érni, az a „tisztázás”. A törekvésben résztvevőknek túl kell lépniük saját diszciplináris megközelítésükön. Ezáltal valamilyen átfogó, hasznos kompromisszumra vagy szinergikus megértésre jutnak, amelyhez az egyes tudományágak, önmagukban nem jutottak volna (még akkor sem, ha normál integratív megközelítésben dolgoznak együtt más tudományterületekkel).

integráló megközelítés – integrative approach (INCOSE (2020))

magában foglalja a rendszertechnikai gyakorlatban általánosan használt, hagyományos multidiszciplináris és interdiszciplináris megközelítéseket.

Az integráló megközelítés önmagában is megfelelő lehet, ha a helyzet nem túlságosan bonyolult, és a potenciálisan érintettek száma kisebb. Akkor lehet alkalmazni, amikor egy korábban tapasztalt, precedens értékű helyzetet kezelünk, melynél a megoldáshoz vezető út könnyen azonosítható és megérthető (bár az út során még sok technikai és egyéb kihívás lesz).

A hagyományos megközelítés alapelveit különböző szerzők különböző módon értelmezik, köztük olyan is előfordul, aki a két megközelítést azonosnak tekinti. Az iparági szóhasználatot elfogadva, a multidiszciplináris és transzdiszciplináris megközelítések közötti különbséget fogalmazzuk meg.

A multidiszciplináris együttműködés során az egyes tudományágak saját tradicionális rendszerük keretei között tevékenykednek. A transzdiszciplináris megközelítés ezen keretet továbbfejlesztve, a közös munka során törekszik a téma igényének megfelelő közös szabályok, módszerek, eljárások és modellek megalkotására. Ezzel saját elméleti és módszertani háttérét is a munka során, alakítja.

A hagyományos és az újabb megközelítés, munkamódszer közötti különbség szemléltetésére a vasúti vágányok elrendezésének analógiája hívható segítségül. A vágányképekkel a tudományágak határain való átlépést, ezzel a tudományágak egymásra hatását kívánom szemléltetni(2.1. ábra).



a)



b)

2.1. ábra.: A multidiszciplináris (a)) és transzdiszciplináris (b)) megközelítés/együtműködés analógiája

Az útmutatóban a rendszertechnika rendezési elvét, számos definícióját alkalmazom. A rendszertechnika általános megközelítését a nukleáris szakterületre adaptálni kell, mely folyamat hosszabb távú fejlesztést, széleskörű egyeztetést igényel. Az elvégzendő munkák jellegét a biztonságkritikus iparágak (pl. NASA (2016)) ilyen jellegű munkáinak elemzésével ismerhetjük meg.

A nukleáris energetika stratégiai jelentőségű szakterület, a tudásintenzív, biztonságkritikus területek közé tartozik, ahol a projektekkel kapcsolatos döntések hosszú időtávú megközelítést igényelnek. A biztonság elsődlegessége alapvető jelentőségű az atomerőmű teljes életciklusa folyamán. A biztonságra meghatározó hatást gyakorol a szervezetek működése, amely magas komplexitású környezetben belül fejti ki tevékenységét. A minősége biztosítása, az u.n. nukleáris minőség elérése az erőmű teljes élettartama alatt meghatározó alapelv.

2.3. Az útmutató felépítése

Az atomerőmű modelljének elemeit az erőmű fizikai valóságban létező építményei, rendszerei, a létesítés (tervezés és kivitelezés), üzemeltetés, a leszerelés részletei és a folyamatok menedzselése képezik. Ismernünk kell a nukleáris energetika és a nukleáris projekt főbb jellemzőit.

Az atomerőmű létesítési és üzemeltetési folyamatának, az erőmű szerepének megértéséhez az erőművet el kell helyeznünk az energiaellátás rendszerében. A rendszer rövid bemutatása és a villamosenergia-termelés sajátosságainak ismertetése a 3. és 4. fejezetben olvasható.

Az atomerőművi eszközrendszer technológiai elemeit az atomerőművi fő technológiai berendezése, az atomreaktor, és maga az atomerőművi technológia képezi. Ezeket az 5. és 6. fejezet ismerteti.

Az atomerőmű építészeti elemeit a 7. fejezetben tárgyaljuk. Ennek fő eleme a konténment, amely egy különleges, kettős célú, épület és (baleseti helyzetben) technológiai berendezés funkcióval rendelkező rendszerelem. A konténmentet a 8. fejezetben mutatjuk be.

A valóságban létező eszközök rendszere a gazdasági tervezés lényeges tárgya. A megvalósult létesítményt a vagyongazdálkodás kezeli, összefoglalását a 9. fejezet tartalmazza.

A nukleáris energetika ágazat és a nukleáris projektek tulajdonságai alapján meghatározhatók azon ágazatok, melyek hasonló körülmények között, hasonló problémákkal szembesülnek. A 10. fejezetben leírt jellemzők alkalmat adnak a módszerek/megoldások egyeztetésére, illetve átvételére. A biztonságkritikus iparágak (pl. űrhajózás, repülés, védelmi ipar, vasútépítés és üzemeltetés) szabályozása a tervezési elvek számára mintául szolgálhatnak.

Tudatosíthatjuk magunkban, hogy a nukleáris projektek az egész világon nemzetközi együttműködés keretén belül valósulnak meg. A tervezésre vonatkozóan pl. nem feltételezhetjük, hogy a külföldi vállalkozó ismeri hazánk szakmai kultúrájának teljes körét, gondoskodnunk kell a szabályozási részletek megismertetéséről. A főbb nukleáris szabályozási dokumentumok jegyzékét a függelékben közöljük.

Ha a használatos szakmai fogalmak egy részére az ágazaton belül nem lelhető fel meghatározás, a „hézag nélküli” lefedés szükséges a szakmai területek kölcsönös megértéséhez. A fogalmak definícióit esetenként más szakmai területekről vesszük át. Az útmutató tárgyalásmódját, a szöveg tagolását úgy alakítottuk, hogy a tömör definíciók beilleszthetők, a velük kapcsolatos értelmezések jól elkülöníthetők legyenek.

A szakmai fogalmak értelmezése, nemzetközi téren, eltérhet ezek hazai jelentésétől (ld. pl. ANS (2019)). A projekt dokumentációnak tartalmazni kell a biztonsági és a szerződéses szempontból lényeges fogalmak értelmezését.

A nukleáris ágazat és nukleáris projekt sajátosságaival magyarázhatók munkánk tárgyának egyes elemei, ezeket a 10. fejezetben tárgyaljuk.

Az atomerőművi modell alapjának tekinthető a nukleáris projekt életciklus modelljének meghatározása. A rendszertechnika elvein alapuló meghatározás mellett további rendszertechnikai fogalmak bemutatására a 11. fejezetben kerül sor.

Az atomerőmű biztonságos működése biztosításához fontos az események elemzése. Ehhez kapcsolódik a következmények, az üzemállapotok megítélésére szolgáló követelmények és megfontolások rendszerbe szedése. A tervezés bemenő adatainak összeállítási részleteit a 12. és 13. fejezetben ismertetjük.

A nukleáris biztonság szempontjait szem előtt tartó tervezési folyamat és elemei bemutatás a 14. fejezetben olvasható. Itt található az engedélyezés alapját, tárgyát képező üzemállapotok meghatározása.

A referencia jegyzéket a 15. fejezet tartalmazza, a témák további részleteit, és a kiegészítő információkat a 16. fejezet ismerteti.

A fogalmak meghatározásánál támaszkodtam a szabványok és a szabályozási dokumentumok meghatározásaira. Ezek alkalmazási körére az idézett dokumentum típusok jellege szolgáltat iránymutatást. Ezt fontos információnak tekintem a hivatkozásokban ezért megtartottam az ágazatban alkalmazott hivatkozási formát (az egyszerű és esetleges jellegű sorszámozás helyett).

3. Villamosenergia-ellátás és villamosenergia-termelés

Az energiaigény korunk egyik legfontosabb jellemzője, akárcsak ennek növekedése. Az energiaellátás biztonsága/állandósága napi életünk meghatározója.

A fejezetben a villamosenergia-termelés, benne a nukleáris villamosenergia-termelés rendszerét mutatom be, az atomerőmű szerepének megértése érdekében.

3.1. Energia és energiaellátás

Amikor energiáról beszélünk, a fogalom alatt az energiafajták összességét kell értenünk.

a legfontosabb energiafajták a

- kémiai energia
- atomenergia
- hőenergia
- helyzeti energia
- mozgási energia
- elektromágneses tér

energiája.

Az energiatermelés folyamatának megszervezéséhez számba kell venni a felhasználható energiaforrásokat, az energiahordozókat:

az energiahordozó

a) olyan anyag vagy jelenség, melynek felhasználásával

- mechanikai munka, illetve hőenergia állítható elő, illetve
- általa vegyi vagy fizikai eljárások működtethetők (ISO 13600 (visszavont) 2.)

b) az anyagban rejlő energia az energiahordozók révén használható fel ([38] alapján).

- **elsődleges (primer) energiahordozók** a természetben fordulnak elő és energianyerésre alkalmasak. Ide tartoznak a fa, szén, kőolaj, földgáz, vízenergia, szélenergia stb. Ezek az energiaforrások készen állnak az emberiség rendelkezésére.

Az elsődleges energiahordozók csoportjai:

- fogyók,
- megújulók.

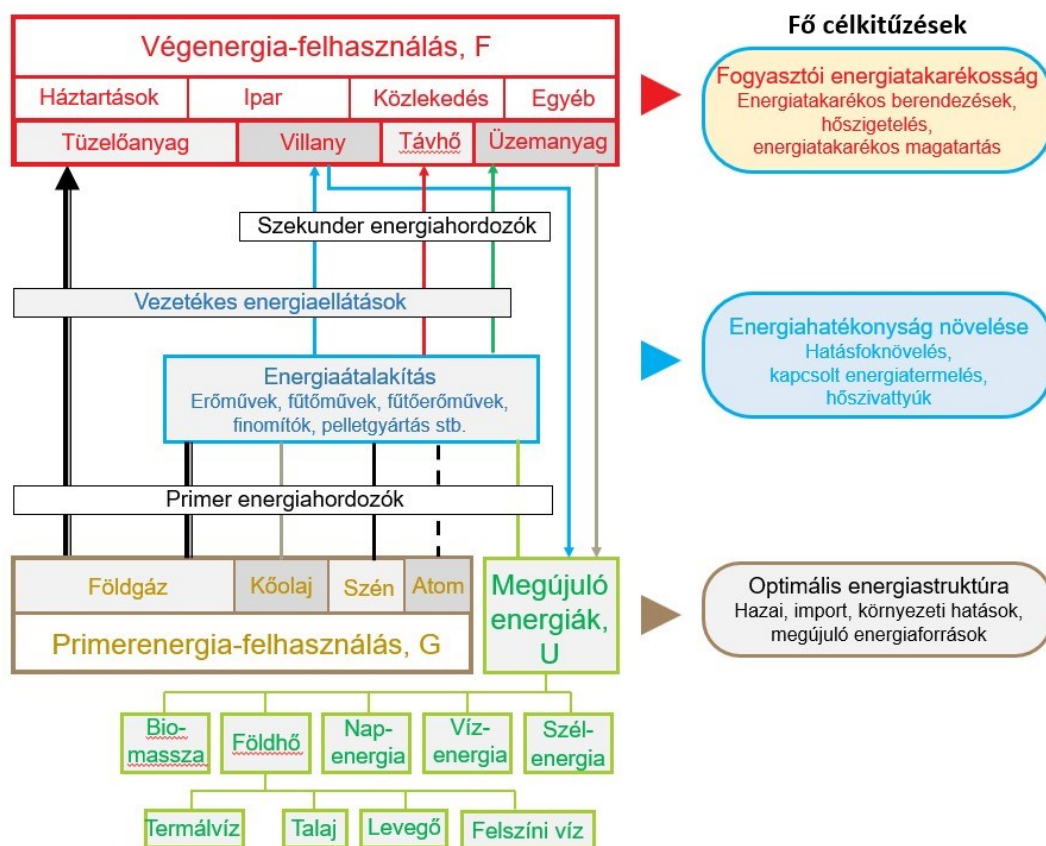
A fogyó energiaforrások csoportjába azok az energiahordozók tartoznak, amelyek kitermelésével a Földünkön található készletek abszolút mértékben csökkennek. Ilyen pl. a szén, a kőolaj és a földgáz. Gyakorlatilag ezekből a fogyó forrásokból fedezi ma az emberiség energiaszükségletének szinte teljes egészét, 90-95%-át.

A megújuló források jellegzetessége, hogy a „készletek” felhasználásuk következtében nem csökkennek. Erről a természet törvényei gondoskodnak. Állandó és folyamatos utánpótlása van a vízenergiának, a szél és napenergiának.

- **másodlagos (szekunder) energiahordozókhoz** az elsődleges energiaforrások átalakítása útján jutunk. Ezek közül kiemelkedően fontos a villamos energia. Villamos energia előállítható mind fogyó mind megújuló energiahordozókból.

Másodlagos energiahordozók még a gőz, a gázok, a koksz és a különféle kőolaj termékek, amelyek közül napjainkban a benzinnek és a gázolajnak van legnagyobb jelentősége.

A primer energiától a fogyasztóig vezető utak és megoldások az energiaellátás (energiaszolgáltatás) rendszerének bemutatásával szemléltethetők (3.1. ábra)



3.1.. ábra: Az energiaellátás egyszerűsített rendszere ([5] 1. ábra alapján)

A hagyományos hőerőművekben a tüzelőanyagban tárolt kémiai energiát kazánokban alakítják először hőenergiává (gőz), majd a gőzzel meghajtott turbina mechanikai energiáját a generátor alakítja villamos energiává.

Az atomerőműben az atomenergia felhasználásával történik a gőz előállítása.

atomenergia – nukleáris energia (nuclear energy)

- a) az atommagokat összetartó energia.
- b) nukleáris reakció során felszabaduló energia, melyet elsődlegesen villamos energia előállítására használnak. Fajtái:
 - maghasadás -fisszió (fission), az ezen elven működő technológia esetében az energia az atommagok két vagy több részre hasadása következtében szabadul fel. A keletkező hőenergiával vizet forralnak, a gőz pedig meghajtja a gőzturbina-generátorokat, melyek a villamos energiát termelik.
 - magfúzió – fúzió (fusion), kísérleti stádiumban lévő megoldás

Az üzemelő atomerőművek reaktorai a maghasadás alkalmazásával működnek. Az útmutatóban ilyen típusú reaktorral felszerelt erőművekkel foglalkozom. A fúziós erőművek jelenleg kutatási fázisban vannak.

3.2. Erőmű típusok

A villamosenergia ipari előállítása erőművekben történik.

erőmű

a) azok az összetett berendezések, amelyek primer energiaforrások (fosszilis, nukleáris, nap, szél, hidraulikus energia stb.) átalakításával villamosenergiát állítanak elő.

b) villamosenergia ipari méretben történő előállítására szolgáló létesítmény. Az egyes erőműtípusokat aszerint különböztetjük meg, hogy milyen primer energiahordozó a villamos energia forrása, és milyen technológiával történik az energiaátalakítás. Ismertebb típusok:

- hőerőművek (szén-, olaj-, gáztüzelésű, atomerőmű, gázturbinás erőművek) és
- megújuló energiaforrással működő erőművek.

Témánknak megfelelően a hőerőművel, illetve ennek egy speciális típusával, az atomerőművel foglalkozunk.

hőerőmű

a hőerőművekben a kazánban (aterőmű esetében az atomreaktorban) felszabaduló hőenergiával gőzt fejlesztenek, mely gőzturbinát hajt meg. Ennek mechanikai energiája forgatja a generátort, mely áramot termel.

atomerőmű (Atv. 2. § 18.)

a) villamos energiát termelő hőerőmű

b) olyan energiaátalakító létesítmény, amely nukleáris láncreakció felhasználásával villamos energiát termel.

A hőerőművek hőenergia szolgáltatási feladatot is teljesíthetnek.

3.3. Erőmű üzem módok

Az erőművek üzem módja meghatározza alkalmazásuk körülményeit az energiatermelés folyamatában, annak

- időtartamát,
- folyamatosságát, és
- az igényelt energiamennyiség változtathatóságát.

erőművek üzem módja

az erőművek üzemeltetésének módja szerint megkülönböztetünk

- alaperőműveket
- menetrendtartó erőműveket
- csúcserőműveket

Az **alaperőművek** folyamatosan, nagy kihasználással üzemelnek, a villamosenergia-rendszer terhelésének állandó részét fedezik. Jellemző példája az alacsony üzemeltetési költségű atomerőmű.

A **menetrendtartó erőművek** teljesítményük változtatásával követik a fogyasztói igények változását. Ezt a feladatot a magyar energiarendszerben hagyományos hőerőművek látják el.

A **csúcserőművek** szolgálnak a legmagasabb terhelésű időszakokban a csúcsterhelések fedezésére, rendszerint csak rövid időszakokra lépnek üzembe. Erre a célra alkalmasak például a gyorsan indítható gázturbinák és szivattyús tározós vízerőművek.

Az igényelt energiamennyiség változtathatóságával kapcsolatos az

erőművi rugalmasság [MW/perc]

az erőműnek az a képessége, amellyel képes követni a villamosenergia-rendszerben fellépő gyors terhelésváltozási igényeket.

A dinamikus követési képesség rendszerszintű kiegyenlítési szolgáltatás formájában díjazott.

A rugalmasság egy technológiai jellemző, mely tulajdonság az erőművi üzemmódokból látható. A jelenleg üzemelő atomerőművek rugalmassága alacsony, növelésére jelenleg is folynak kutatások.

3.4. Erőművek teljesítőképessége

Az erőművek energiatermelési képességét alábbi paraméterek mutatják:

erőművi teljesítmény

a beépített villamosenergia-termelő egységek generátorkapcson, tervezési körülmények között mért névleges aktív (wattos) teljesítményeinek összege.

erőművi teljesítőképesség

az erőmű csatlakozási pontján átadható, illetve átvehető hatásos teljesítmény.

3.5. Hőerőművek fő folyamatai

A villamosenergia termelése érdekében, a hőerőművekben lejátszódó lényegesebb folyamatokat két csoportra oszthatjuk:

- fő technológiai folyamatokra és az ezeket
- kiegészítő folyamatokra.

A fő technológiai folyamatok – amelyek az erőmű főberendezéseiben zajlanak – a következők:

- tüzelőanyag kémiai energiájának átalakítása hőenergiává (elégetési folyamat)
- hőenergia átadása a közvetítőközegnek
- közvetítőközeg hőenergiájának átalakítása mechanikai energiává
- mechanikai energia átalakítása villamos energiává

A főbb kiegészítő folyamatok – amelyek segédberendezéseket igényelnek – a következők:

- tüzelőanyaggal kapcsolatosak (a tüzelőanyag beérkezése, tárolása)
- hűtővízzel kapcsolatosak (a víz kinyerése és bevezetése az erőműbe, visszahűtése vagy visszavezetése)
- pótvízzel kapcsolatosak (szűrés, vegyi előkészítés, bevitel a fő technológiai folyamatba)

Az atomerőművek a hasadási magreakció (fisszió) energiájával fűtött hőerőművek. A hagyományos hőerőművek kazánjában lezajló égés helyett, a reaktorban lezajló

folnyamatok termelik a hőenergiát, amellyel a vizet gőzzé alakítják, s a gőz a turbógenerátorokat meghajtva, azok villamos energiát termelnek.

4. Nukleáris láncreakció és nukleáris villamosenergia-termelés

A nukleáris energiatermelés a békés célú nukleáris energia felhasználásának egyike, a fejezetben ennek fizikai folyamatát és létesítményeit ismertetjük.

A nukleáris energiatermelés a maghasadás során keletkezett hőt használja áramtermelés céljára.

nukleáris láncreakció (Atv. 2. § 6.)

atommaghasadások olyan sorozata, amelyet a hasadási folyamat során felszabaduló neutronok tartanak fenn.

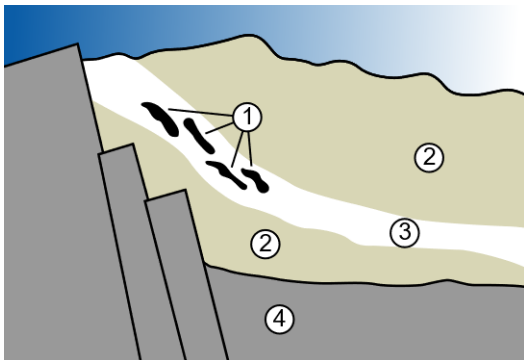
Az ipari alkalmazásban lejátszódó nukleáris láncreakció korábban, természetes körülmények között is létrejött. A következő fejezetben a természetben korábban végbement láncreakciót mutatom be.

4.1. Oklói természetes atomreaktorok

A Föld keletkezésekor meghatározott arányban került a Földre az U-235 és U-238 uránizotóp, ez határozza meg az izotópok arányát is az urán lelőhelyeken, ami ezért állandó volt a Föld bármely pontjáról származó mintában. Annak magyarázatára, hogy a gaboni lelőhelyen mi okozhat nagy eltéréseket az U-235 izotóp koncentrációjában, a kutatók egy merész elmélettel álltak elő, mégpedig, hogy természetes módon kialakuló atomreaktorok nyomaira bukkantak. Szám szerint 17 ilyen reaktort tártak fel (<https://hu.wikipedia.org/wiki/Okl%C3%B3>).

A vizsgálatok szerint 1740 millió éve váltak kritikussá a Gabonban található oklói természetes reaktorok (4.1. ábra), mikor a talajvíz feltört, és előntve az értelepet, betöltötte a láncreakcióhoz szükséges moderátor szerepét. A reaktorok szabályozottan működtek, a szabályozás szerepét is a talajvíz valósította meg. Ahogy nőtt az aktivitás, úgy nőtt a termelt energia is, melynek hatására elforrt a víz. Víz hiányában nem volt, ami lelassíthatta volna a neutronokat, így csökkent a meghasadások száma. Az aktivitás csökkenésével lehűlt a reaktor, friss talajvíz tudta elárasztani, és ezzel ismét növekedni kezdett az aktivitás.

Az egyes reaktorok működési ideje nagy változatosságot mutat. Van, amelyik csak 20 000 évig, illetve van olyan is, ami mintegy 800 000 évig működött, mire a hasadóanyag-tartalom annyira lecsökkent, hogy a láncreakció már nem volt önfenntartó. Becslések szerint, a reaktorok a működésük során 87,66 TWh energiát termeltek, mely képes volna két évig fedezni egész Magyarország villamosenergia-igényét.



a)



b)

4.1. ábra: Oklói (Gabon) természetes atomreaktor

a) az oklói természetes nukleáris reaktorok

(1) Nukleáris reaktor zónák, (2) Homokkő, (3) Uránérc, (4) Gránit

<https://hu.wikipedia.org/wiki/Oklo%C3%B3>

b) a képen jól látható sárga foltok mutatják, hogy hol nagy az urán-oxid koncentrációja (kb. 70%) a homokkő hordozókőzetben.

<https://bigthink.com/starts-with-a-bang/earth-natural-nuclear-reactor/>

4.2. Nukleáris létesítmények

A nukleáris energia felhasználásával kapcsolatos az

atomenergia alkalmazása (Atv. 2. § 1.)

- a) a nukleáris vagy más radioaktív anyaggal kapcsolatos tevékenység,
- b) az ionizáló sugárzást létrehozó, valamint az a) pont szerinti alkalmazást szolgáló létesítményekkel, berendezésekkel összefüggő tevékenység.

A nukleáris energia felhasználásával kapcsolatos a

nukleáris létesítmény (Atv. 2. § 7.)

- a.) a dúsítóüzem, nukleáris üzemanyagot gyártó üzem, atomerőmű, kiégett üzemanyagot újrafeldolgozó üzem, nukleáris üzemanyagot vizsgáló laboratórium, kutatóreaktor, oktatóreaktor, nukleáris kritikus és más neutronsokszorozás célját szolgáló rendszer, friss nukleáris üzemanyag tárolására és kiégett üzemanyag átmeneti tárolására szolgáló létesítmény,

- b.) az a) alpontban felsorolt nukleáris létesítményekhez közvetlenül kapcsolódó, ugyanazon a telephelyen található, radioaktív hulladék tárolására szolgáló létesítmények, amennyiben külön létesítménynek minősülnek.

Az energiatermelés megvalósítása az

atomerőművi blokk (NBSZ 10.11.)

egy nukleáris energiát hőenergiává alakító atomreaktor a hozzá tartozó rendszerek és rendszerelemek összességével, amelyek a biztonságos villamosenergia-termeléshez szükségesek.

rendszerében történik.

5. Atomreaktorok

Az atomerőművi technológiai rendszer főberendezése az atomreaktor:

atomreaktor

- a) olyan berendezés, amely szabályozott nukleáris láncreakció megvalósítására alkalmas. (Atv. 2. § 11.)
- b) az a berendezés, amelyben neutron vagy neutronok által kiváltott maghasadások mennek végre láncreakciószerűen, és ennek eredményeképpen energia szabadul fel ([34])

A berendezés fejlődését, sokféleségét a reaktor

- típusai
- osztályai
- generációi

bemutatásával érzékeltetjük.

A következő fejezetben tárgyaljuk a nukleáris energiatermelő technológia releváns részleteit.

5.1. Reaktorok felhasználási területei

Az atomreaktorok széleskörű felhasználási lehetőséggel rendelkeznek:

reaktor felhasználási terület ([10] 53 p. alapján)

- energiatermelés
- kritikus rendszer (zéróreaktor), reaktortechnikai és biztonságtechnikai kutatások céljára. A kritikus rendszerek kisebb teljesítményűek.
- speciális reaktor, haditechnikai felhasználású, vagy közlekedési eszközök (elsősorban hajók) energiaforrása
- kutatóreaktor, neutronfizikai kutatásokra és/vagy radioaktív izotópok előállítására. Jellemzően 500 kW - 100 MW (hő) teljesítménnyel.

A felhasználási területek áttekintését láthatjuk a 5.1. ábrán.



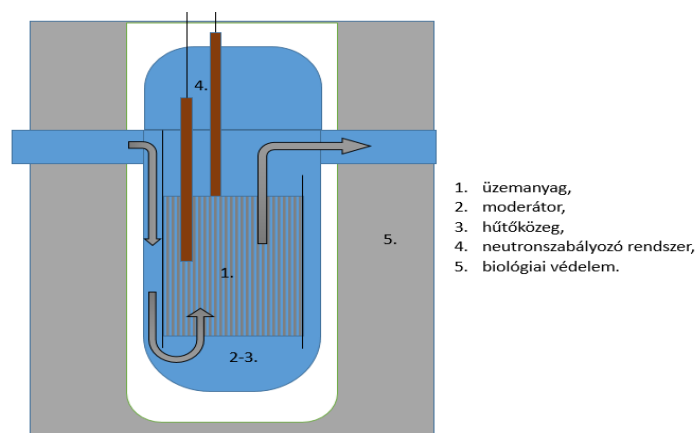
5.1. ábra: Atomreaktorok felhasználási területeinek áttekintése ([102] 4. p.)

Az útmutató témája az atomerőművi energiatermelés, a továbbiakban ezért az atomerőművi (energetikai) reaktorokkal foglalkozom.

5.2. Reaktorok felépítése

Az atomreaktorok működését a bennük lejátszódó folyamatok jellege alapvetően határozza meg. A két lehetséges változat (ld. következő fejezet) közül a termikus reaktorok energetikai felhasználása terjedt el, vizsgálatainkban erre koncentrálok.

A termikus atomreaktor fő összetevőit láthatjuk a 5.2. ábrán.



5. 2. ábra: Termikus atomreaktor fő összetevői ([100] p. 3.)

A termikus reaktorok fő részei ([100])

1. nukleáris üzemanyag

általában urán (U) vagy plutónium (Pu) vagy kevert urán-plutónium (MOX), a legtöbb termikus atomreaktor ^{235}U uránizotópot használ.

Az izotóp alacsony gyakorisága miatt (0,72%) a természetben előforduló uránt ^{235}U -ban dúsítják. A dúsítás az atomerőművekben és kutatóreaktorokban használt üzemanyagokban 2%-tól 40%-ig terjed (2-5% - gyengén dúsított, >20% - magasan dúsított urán). Régebbi reaktorokban, amelyeket például tengeralattjárókon használtak a 90%-os dúsítás sem volt ritka (ld. még alábbi táblázatot).

A jelenleg üzemelő vízhűtéses energetikai atomreaktorok elsődleges üzemanyaga a magas (2850 °C) olvadáspontú UO_2 , kerámia tabletta (pasztilla) formában, cirkónium burkolattal ([110] alapján).

2. moderátor

a gyors neutronok lassítására szolgál. Jó lassítóképeségű és kis befogási hatáskeresztmetszetű anyag. Olyan anyag, amely csak kevésbé nyeli el a neutronokat, azok a magjaikkal tökéletesen rugalmasan ütköznek (5.1. táblázat).

- H=1, hidrogén: (könnyű)víz formában
- D=2, deutérium, nehézhidrogén: nehézvíz
- C=12, szén: grafit formában.

A vízmoderátoros reaktorok előnye, hogy túlhevülés esetén a víz elforr, a neutronok nem lassulnak le, hanem ^{238}U -ban hasítás nélkül befogódnak, ezért ilyenkor a láncreakció önmagától leáll.

5.1. táblázat: Moderátor anyagai ([102])

Üzemanyag (dúsítás)	Neutronlassító (moderátor)
Természetes urán (0,71% ^{235}U)	Nehézvíz, tiszta grafit
3-5%-ra dúsított urán	Könnyűvíz
>20%-ra dúsított urán	Nem kell moderátor (gyorsreaktor)
>50%-ra dúsított urán	Nem kell moderátor (atomfegyver)

A táblázatban láthatjuk a leggyakrabban használt üzemanyag, az urán dúsítási mértékének lehetséges értékeit.

3. hűtés (H_2O , D_2O , CO_2 , He)

Ld. 5.2. ábra.

4. reaktivitás-szabályozás neutronelnyelő anyag (B, Cd)
ld. 5.9 pontban.

5. biológiai védelem

a) ionizáló sugárzást árnyékoló, gyengítő fizikai gát, amelynek feladata a sugárforrások környezetében tartózkodó személyek sugárterhelésének csökkentése (NBSZ 10.18.).

b) nagy áthatoló képességű sugárzások (gamma-, röntgen- és neutronsugárzás) elnyelésére szolgáló védelmi falak ([10] p.: 254.).

A biológiai védelem akkor megfelelő, ha azon közvetlen, valamint a szórt (szekunder) sugárzás csak oly mértékben tud áthatolni, hogy a védelem külső felületének közvetlen közelében tartózkodó személyeket legfeljebb a normál üzemi állapothoz tartozó sugárterhelés (tehát a dózismegszorítás egy adott, az üzemi viszonyoknak megfelelő hányada) érheti. Általában a

biológiai védelem anyagai ([10] p.: 257.)

gamma-sugárzás és röntgensugárzás elleni védelem

- acél
- acéllapokkal körülvett ólom
- rézlemezzel borított ólom (elsősorban egésztest-számlálók háttérének csökkentése)
- normál beton
- nehézbeton (például baritbeton)
- egyéb nehézfémek (bizmut, volfrám, szegényített urán stb.)

neutronsugárzás elleni védelem

- bóros vízzel töltött acéltartályok, bórral és grafitral töltött hasábok, téglák
- paraffintéglák, paraffin töltött fémhasábok
- megfelelő burkolattal ellátott grafit, víz, gumi, műanyag,
- különleges, nagy mechanikai szilárdságú, nagy hidrogéntartalmú szintetikus, illetve természetes alapú anyagból előállított készítmények, például „Jabroc”

5.3. Nukleáris üzemanyag

A reaktor működéséhez szükséges a

nukleáris üzemanyag (Atv. 2. §.13.)

az atomreaktor üzemanyaga, amely nukleáris anyagot tartalmaz.

A vízűtűsű reaktorok legalkalmasabb üzemanyaga a kerámiák közül az UO_2 . A reaktor üzemanyagát a fűtőelem tartalmazza.

fűtőelem (NBSZ10.65.)

olyan szerkezeti elem, amely a nukleáris üzemanyagot tartalmazza, a hozzá tartozó fűtőelem-burkolattal.

A fűtőelem biztonsági szempontból fontos alkotórésze a

fűtőelem-burkolat (NBSZ10.66.)

a nukleáris üzemanyagot a hőhordozótól elválasztó, a hasadási termékeknek a hőhordozó közegbe jutását meggátló burkolat.

A fűtőelemek - fűtőelem pálcák/rudak – kötegelve, kazetta formájában, összekapcsolva kerülnek a reaktortartályba.

fűtőelemköteg (NBSZ 10.67.)

a fűtőelemek normál üzemi körülmények között legkisebb közösen mozgatható, kezelhető, összeszerelt egysége.

Az üzemanyag elhasználódásának folyamata a

kiégés

az üzemanyag minőségének megváltozásával járó folyamatok összessége. A láncreakció kapcsán létrejövő folyamatok egyrészt fogyasztják az üzemanyag ^{235}U izotóp tartalmát (maghasadás), másrészt átalakítják a reaktorban lévő izotópokat (neutron befogás). A kiégés során hasadási termékek (reaktormérgek), illetve transzuránok keletkeznek.

A reaktorműködés biztosításának folyamata a

nukleáris üzemanyag-ciklus

a nukleáris üzemanyag élettartamának valamennyi szakasza, beleértve a gyártást, hasznosítást, átmeneti tárolást, és a nukleárisüzemanyag-ciklus lezárását (Atv. 2. § 27.).

A nukleáris üzemanyagciklus felépítése ([1]):

- nyitószakasz (front-end): bányászattól a reaktorba való betöltésig (bányászat, konverzió, dúsítás, fűtőelemgyártás)
- hasznosítás a reaktorban, kiégés
- zárószakasz (back-end): reaktorból való végleges kiemelésről a végleges elhelyezésig (átmeneti tárolás, reprocesszálas, végleges elhelyezés) való tevékenységek lefolytatásával biztosítható.

Az üzemanyagciklus zárása a zárt üzemanyagciklusra való áttérést jelenti. A fűtőelem cserék között eltelt idő a

nukleáris üzemanyag-csere közötti időtartam (reaktor kampány) ([10] p: 31.).
az egymást követő üzemanyagcsere közötti időtartam

5.4. Reaktor típusok

Neutronok szerepe és jellemzői

A neutronok viselkedése meghatározza az atomreaktor működésének tulajdonságait.

A neutroncsoportok osztályozó szempontjai és jellemzői:

- a hőmozgásából eredő energia szintjei szerinti neutron csoportok:
 - gyorsneutron, mozgási energiája 0,1 MeV-nál nagyobb.
Minden hasadási neutron gyorsneutron.
 - közbenső energiájú neutron, mozgási energiája 1 eV és 0,1 MeV közötti
 - lassú neutron mozgási energiája 1 eV alatti
- a környezethez viszonyított energiaszint szerinti neutron csoportok:
A neutron környezetével termikus egyensúlyban van, ha energiája közel azonos a környezetében levő elemek hőmérséklet által meghatározott hőrezgésének energiájával.

A termikus neutronok

- közbenső energiájú (epitermikus-termikus feletti) vagy
- lassú neutronok

lehetnek.

Az energetikai célú reaktorok csoportjai elkülönítése a neutronspektrum különbözősége alapján lehetséges:

neutronspektrum szerinti reaktor csoportok

A maghasadásokat előidéző neutronok mozgási energiája alapján alapvetően megkülönböztetünk

termikus-, lassú reaktor

a maghasadásokat zömében lassú (termikus), kis energiájú neutronok hozzák létre.

gyors-, tenyésztőreaktor

a maghasadásokat zömében gyors, lassítás nélküli neutronok hozzák létre.
A reaktor plutónium tenyésztéssel működik, pl. plutónium-239 fűtőanyag alkalmazható, urán fűtőanyag nem. Moderátorként legtöbbször grafitot, hűtéshez folyékony fémeket (pl. nátrium, kálium) alkalmaznak.

Az energiatermelő reaktorok a termikus reaktorok csoportjába tartoznak. Vizsgálataink a következőkben ezen reaktorcsoportra vonatkoznak, az ettől való esetleges eltérést külön jelezzük. Megállapításaink érvényessége sok esetben nem korlátozódik a termikus reaktorokra, az ilyen jellegű kiterjesztéseket azonban nem tárgyalom.

Reaktor típusok meghatározása

A termikus reaktorokat négy szempont figyelembevételével osztályozhatjuk:

- reaktortartályban uralkodó nyomás
- hűtőközeg anyaga
- moderátor anyaga
- üzemanyagcsere módja

A felsorolás elemeinek bővebb tartalma:

reaktortartályban uralkodó nyomás alapján meghatározott csoportok

- | | |
|--|--|
| • nyomottvizes reaktor
aktív zóna nyomása 120-150 bar | PWR, pressurized water reactor |
| • forralóvizes reaktor
aktív zóna nyomása 60-80 bar | BWR, boiling water reactor |
| • nyomott nehézvizes reaktor
(CANDU,
Canada Deuterium Uranium)
aktív zóna nyomása 100 bar | PHWR, pressurized heavy water
reactor |

Itt említjük meg az orosz PWR típusú RBMK nagyteljesítményű csatornás reaktort, melynek csernobili balesete széleskörű kutatási, fejlesztési tevékenységet indított és a nukleáris szabályozás lényegi módosításához vezetett..

hűtőközeg anyaga alapján meghatározott csoportok

- | | |
|---|-----------------------------------|
| • könnyűvizes reaktor | LWR, light water reactor |
| • nehézvizes reaktor | HWR, heavy water reactor |
| • gázhűtésű reaktor
(He, CO ₂) | GCR, gas-cooled reactor |
| • egyéb hűtőközegű reaktorok | |
| ○ olvadt fém hűtésű
(ólom, ólom bizmut eutektikum) | LFR, lead-cooled fast reactor |
| ○ sóolvadék hűtésű
(lítium, nátrium), | MSR, molten salt reactor |
| ○ szuperkritikus vizes | SCWR, supercritical water reactor |

moderátor anyaga alapján meghatározott csoportok

A termikus vagy lassú reaktorok (neutron) moderátoraik alapján:

- | | |
|--|--------------------------|
| • könnyűvizes reaktor
a moderátor (neutronlassító) anyaga
nagy tisztaságú könnyűvíz (H ₂ O) | LWR, light water reactor |
| • nehézvizes reaktor
moderátor (neutronlassító) anyaga
nagy tisztaságú nehézvíz | HWR, heavy water reactor |

- (D2O, deutérium-oxid)
 - grafit moderálású reaktor
moderátor (neutronlassító) anyaga
nagy tisztaságú szén vagy
egyik allotróp változata a grafit
- GMR, graphite moderated reactor

allotrópia

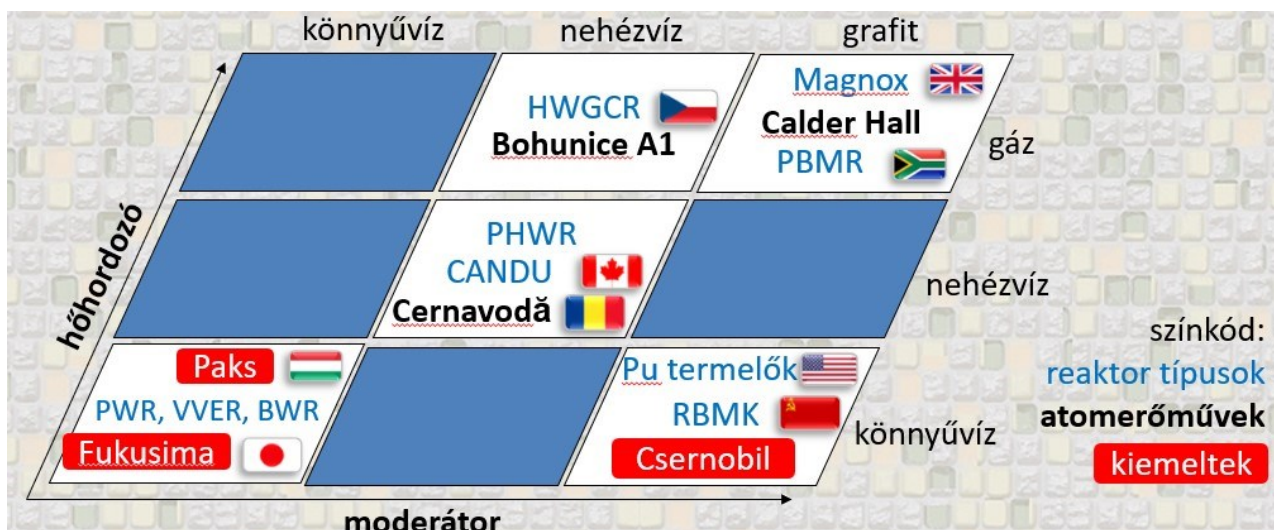
egy kémiai elemnek azonos halmazállapotú, de többféle molekulaszervezetű vagy különböző kristályszerkezetű változatban való előfordulása. Az allotrop módosulatokban az atomok elrendeződése eltérő.

<https://hu.wikipedia.org/wiki/Allotr%C3%B3pia>

üzemanyagcsere módja alapján meghatározott csoportok ([10] p.: 31)

- folyamatos üzem alatti üzemanyag cserével, illetve átrendezéssel működő reaktorok
az ilyen típusú reaktoroknál nincs szükség nagy beépített reaktivástartalékra, melynek lekötése egyes üzemzavarok esetén problematikus lehet, pl. CANDU, RBMK reaktorok
- periodikus működésű reaktorok
Az üzemanyagcseréhez a reaktorberendezés szétszerelése szükséges, ami a karbantartással összekötve is nagyon időigényes. Ilyenek pl. a legelterjedtebb könnyűvízes reaktorok PWR, VVER, BWR.

A reaktortípusok áttekintését könnyíti meg az 5.2. ábra.



5.2. ábra: Néhány reaktortípus és atomerőmű két dimenzióban ([104] 7, részlet)

5.5. Reaktor osztályok

A reaktorok jellemző teljesítmény tartománya és ezzel összefüggésben mérete alapján három fő kategória állapítható meg (FIB (2001)2., App. II.).

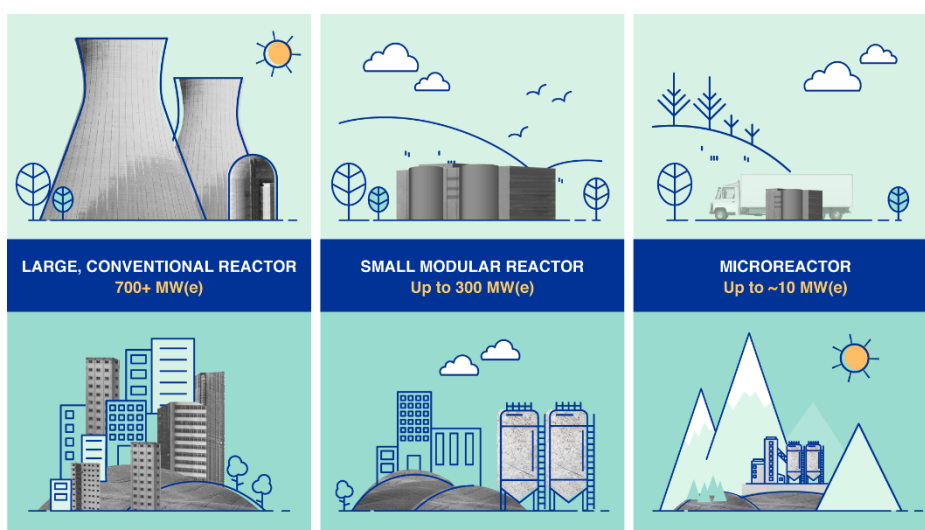
A különböző teljesítmény osztályú reaktorok különböző érettségi kategóriákba sorolhatók, az alábbi felsorolás szerint:

Reaktorosztály	Méret	Érettség
nagy reaktorok kereskedelmiileg rendelkezésre állnak	GWe nagyságrend	TRL: 11
kis reaktorok (SMR, small modular reactor) fejlesztés alatt	300 MWe	TRL: 2-8
mikro reaktorok (az SMR-ek részhalmaza, várhatóan 20 MW hőteljesítménnyel) fejlesztés alatt	10 MWe	TRL: 2-6

A technológia érettség minősítésére az idézett dokumentum 12 fokozatú TRL skálát alkalmaz. Ennek kategória csoportjai:

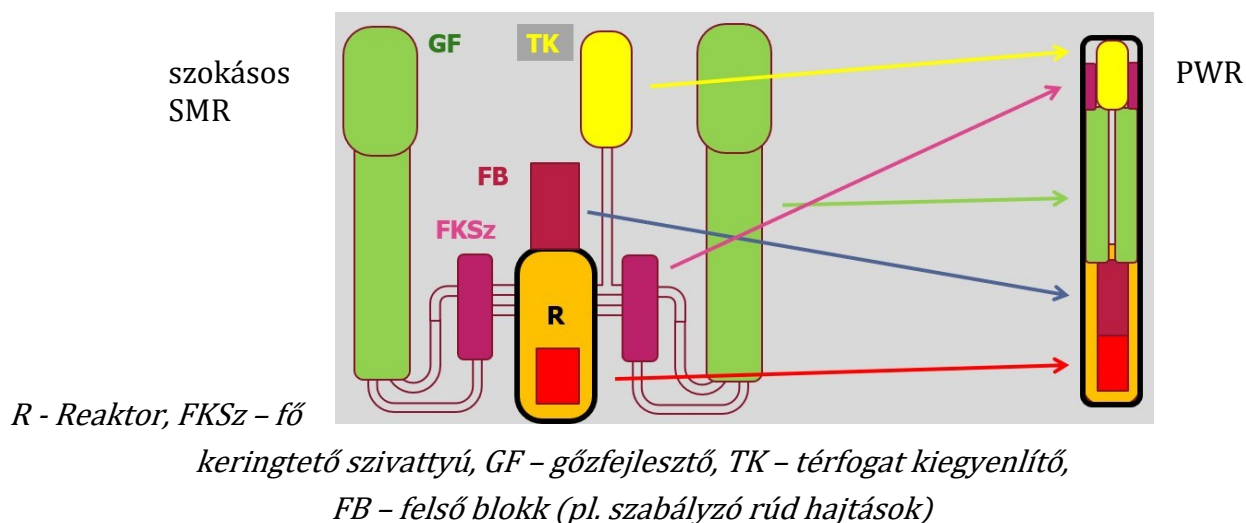
- demonstráció 1. – 3.
- korai (állapotban) elfogadás 4. – 9.
- érett 10. – 12.

A méretkategóriákat mutatja az 5.3. ábra.



5.3. ábra: Atomerőmű méretkategóriák
(Fig. IAEA in [100])

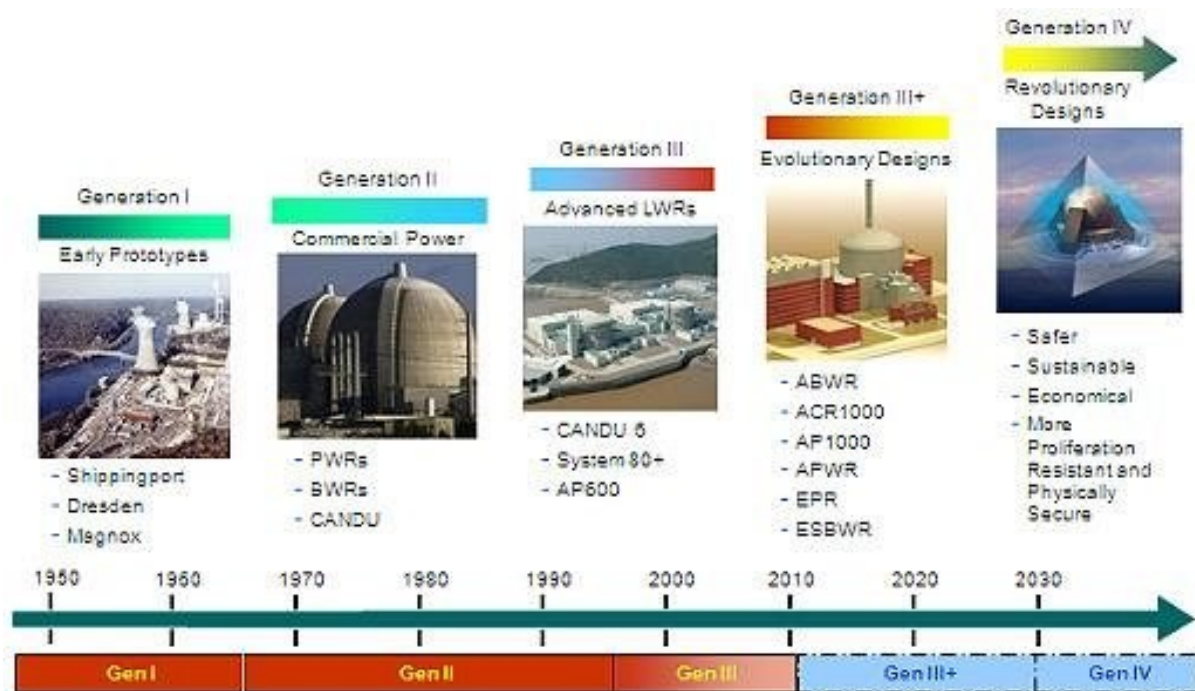
Az SMR, kis moduláris reaktor egy magas, keskeny tartály ([104] 22 p.). Az SMR felépítését az 5.4. ábra jobb oldalán láthatjuk. Az ábra bal oldalán látható nagy reaktor primer körének elemei láthatók, amelyeknek megfelelő SMR részeket a nyilak mutatják.



5.4. ábra: A nagy reaktor és SMR, kis moduláris reaktor felépítése, a fő alkotórészek megfeleltetése – integrált kialakítás ([104] 22 p.)

5.6. Reaktor generációk

A nemzeti stratégia döntéshozói számára kritikus a nukleáris energia alkalmazása potenciális előnyeinek és hátrányainak megértése, egy amerikai elemzés ([15]) eredeti célja ennek segítése volt. Az atomreaktorok tulajdonságainak jellemzésére/megkülönböztetésére hat paramétert határoztak meg. A tanulmány áttekintést ad az atomreaktor technológia fejlődéséről, az új reaktorok fejlesztésének és telepítésének fontos tényezőiről.



5.6. ábra: Atomreaktorok generációi

https://www.researchgate.net/figure/Generations-of-Nuclear-Power-Reactors_fig1_327416429

A reaktor generációk jellemzői

([1] és [15] alapján)

I. generáció

Minden olyan nukleáris kezdeményezés, amely az atomenergia békés felhasználását tűzte ki célul, első generációnak tekinthető. Ezek a korai prototípus reaktorok.

II. generáció

A második generációs kereskedelmi reaktorok üzembe lépése a 1960-as évek végén kezdődött. A napjainkban használt reaktorok többsége ebbe a kategóriába tartozik, tervezett élettartamuk tipikusan 40 év, üzemidő hosszabbítási folyamatuk már korábban elkezdődött.

A második generációs erőművek biztonsági rendszerek alkalmazásával kerültek megépítésre. Az egyik legfontosabb újítás a konténment alkalmazása, mely a baleseti helyzetekben megakadályozza a radioaktív anyagok kijutását a szabadba.

Mindkét generáció reaktorai, szinte kivétel nélkül, könnyűvíz moderátoros/hűtőközegű, főleg nyomottvizes reaktorok.

A jelenleg üzemelő paksi atomerőmű négy blokkja is a második generációs reaktorok közé tartozik, ugyanakkor az évek során több teljesítmény és biztonságnövelő fejlesztésen esett át, ahogyan a technológia fejlődése azt lehetővé tette.

III. generáció

A második generációs erőművek működtetése során szerzett tapasztalatokat felhasználva fejlesztették az evolúciós reaktorokat. Ilyen reaktorral felszerelt erőmű először 1996-ban lépett üzembe.

A fejlesztést kibővített és továbbfejlesztett technológiai megoldásokkal, valamint a jelenlegi reaktortípusok gazdasági és biztonsági optimalizálásával, továbbá egyéb (üzemeltetési) tapasztalatok felhasználásával végezték

Az üzemeltetést megnövelt hatásfokon, magasabb üzemanyag hasznosítással és fejlett dúsítási eljárásokkal valósítják meg, az eddiginél jóval hatékonyabb és hosszabb, akár 60 éves üzemidő biztosításával.

A III. + reaktor modellek fejlesztése az 1990-es években kezdődött. A módosítások a III. generációs reaktorok nukleáris biztonságának lényeges javítását célozzák.

IV. generáció

A negyedik generációs, más néven innovatív atomreaktorok olyan új megoldásokat és fejlesztéseket vetítenek előre, melyek az eddigi atomerőművek működését alapvetően más mechanizmusra tervezik. Ilyen például a fúziós erőművek megvalósításának lehetősége, valamint minden olyan elméleti nukleáris reaktor dizájn, amely tervei, kutatásai, fejlesztései még folyamatban vannak.

A negyedik generációs erőművek alkalmazási feltétele, hogy úgy feleljenek meg a megnövelt biztonsági követelményeknek, hogy a nukleáris hulladék minimalizálása és újra hasznosítása megvalósuljon.

A negyedik generációs típusok megjelenése, a jelenlegi várakozások szerint, 2030-tól várható.

5.7. Reaktor üzemállapotok

A reaktor különböző üzemmódjai szoros összefüggésben vannak az atomerőművi rendszerek üzemmódjaival, és az üzemvitel folyamatának megfelelő módon szervezhetők. A reaktorok főbb üzemmódjait az erőművek üzemmódjai fejezetében tárgyaljuk.

A reaktor működésének megértéséhez szükséges foglalkoznunk a reaktor lehetséges üzemállapotaival.

reaktor üzemállapotok ([10] p.: 268.)

azok az állandósult vagy szabályozott és ellenőrzött módon megvalósított átmeneti állapotok, melyekben a fontosabb jellemzők az előírt tartományban vannak.

Reaktorfizikai alapon a

reaktor állapot, minden reaktorra vonatkozóan az alábbi:

- szuperkritikus: indításakor és teljesítménynövekedés esetén
- szubkritikus: leállításakor és teljesítménycsökkenés esetén
- kritikus: üzemének jelentős részében, változatlan teljesítmény esetén

A meghatározásokban szereplő fogalmak az alábbiak:

kritikusság, kritikus állapot (NBSZ 10.108. és [34])

az az (állandó teljesítményű, stacionárius) állapot, amikor a nukleáris láncreakció éppen önfenntartó. Jellemzően egy maghasadás során keletkező neutronok közül csak egy neutron kelt újabb maghasadást, a többi befogódik pl. a neutron-szabályozó rudakban.

szubkritikus állapot (NBSZ 10.160. és [34])

csökkenő teljesítményű állapot, ekkor csökken a neutronok száma, a nukleáris láncreakció csak külső neutronforrás jelenlétében maradhat fenn.

szuperkritikus állapot ([34])

a neutronok száma nő és ezzel párhuzamosan általában nő a reaktor teljesítménye.

A normál üzemtől eltérő állapotot a

megszaladás

reaktorbaleset, tartós és szándékolatlan szuperkritikus állapot, a reaktor teljesítményének ellenőrizetlen megnövekedése.

5.8. Reaktorok biztonsága

Az atomerőművi reaktorok olyan jellemzőkkel rendelkeznek, amely biztonsági szempontból alapvetően megkülönbözteti őket bármely más energiatermelő berendezéstől ([10] p.: 270. és [101] 14. alapján).

- az atomerőművekben alkalmazott reaktorok üzemanyagában nagy mennyiségű radioaktív anyag van felhalmozva.
 - üzem közben: elsősorban neutron- és gamma forrás
 - üzem közben és leállítás után: hasadási termékek, transzuránok, aktivációs termékek
- nagy mennyiségű hasadóképes (nukleáris) anyag kezelése (ellenőrizetlen láncreakció megakadályozása).

a reaktorok aktív zónájában felhalmozott radioaktív hasadási termékek a reaktor leállítását követően folyamatosan, igen hosszú ideig energiát termelnek, maradványhőt fejlesztenek. Az üzemanyag hűtéséről, a maradványhő eltávolításáról, a láncreakció leállítását követően is gondoskodni kell, a pálcaburkolat sérülésének megakadályozása érdekében.

A felhalmozódó hasadási termékek, és az általuk felaktivált anyagok a leállítást követő hosszú ideig jelentős mennyiségű radioaktivitást jelentenek, mely által okozott sugárterheléstől az üzemeltető és karbantartó személyzetet védeni kell, illetve aminek jelentősebb mértékű kibocsátása környezetet károsító balesetet eredményezhet.

A reaktorok biztonságával kapcsolatban (és általában is) megkülönböztettünk

- tervezési és
- üzemeltetési

biztonságot.

Az üzemeltetési biztonság szervezeti jellegű/illetékességű kérdés, amely a szervezeti viselkedés/szervezeti kultúra keretén belül kezelendő.

A tervezési biztonság annyiban eltér fenti terület megoldásaitól, hogy ellentétben a szervezeti módosításokkal, a tervezési konstrukciós döntések utólag nem módosíthatók. Balesetmegelőzési tapasztalatok alapján az egyik legfontosabb, a korszerű reaktorok jellemzőjének tekintett a

reaktor inherens biztonsága

a) a reaktorban bizonyos baleseti szituációkban (az ún. reaktivitás-balesetekben) olyan belső fizikai, hőtechnikai folyamatok működnek, amelyek fékezik és végül leállítják a kedvezőtlen irányú változásokat ([7]).

b) az aktív zóna nukleáris jellemzőinek megválasztásával kell biztosítani az atomreaktor inherens biztonságát, vagyis azt, hogy a hűtőközeg-vesztés, a hőmérséklet vagy a zónageometria-változás ne okozhasson szabályozhatatlan reaktivitás-növekedést sem normál üzemben, sem várható üzemi események alatt, sem tervezési üzemzavari viszonyok között (5.2.16.0800)

Az inherens biztonság meglétének biztosítása a reaktortervezés egyik fő vezérlő elve, a korszerű reaktorok esetében ezzel minden konstrukciónál számolhatunk.

Fenti reaktorjellemző fontosságát a csernobili baleset következményei is mutatják.

5.9. Reaktorok szabályozása

A biztonság kielégítésének szükséges feltétele a

- láncreakció kontrollja (reaktivitás szabályozása)
- üzemanyag megfelelő hűtése (hőeltávolítás a besugárzott fűtőelemekből)
- radioaktív anyagok visszatartása

Ezen biztonsági célok teljesítése érdekében, biztonsági funkciókat kell beazonosítani és ezek megvalósításához biztonsági rendszereket kell tervezni. A szabályozási dokumentumok súlyponti kérdésnek tekintik a biztonság megvalósítását, az ezzel kapcsolatos alapfogalmak:

funkció (rendeltetés, működés, feladatkör, szerep, tisztség, tevékenység) - function

- a) a szerkezetek, rendszerek és komponensek képessége a tervezett feladat teljesítésére (NUREG-2203).
- b) az adott rendeltetéssel vagy szereppel megvalósított cél, az elvégzendő vagy megvalósítandó hatás; az, amit a szerkezet, rendszer, rendszerelem, a szervezet, vagy személy betölt (WikiSzótár.hu alapján, Móga I.).

biztonsági funkció (NBSZ 10. 24.)

atomerőművek esetében várható üzemi esemény, üzemzavar vagy baleset, súlyos baleset kialakulásának megelőzésére vagy következményeinek korlátozására előirányzott funkciók, amelyek hozzájárulnak, vagy hozzájárulhatnak az alapvető biztonsági funkciók teljesüléséhez.

alapvető biztonsági funkciók (NBSZ 10. 4.)

A nukleáris létesítmény biztonságos üzemeltetéséhez és a vele kapcsolatos tevékenységek alapjául szolgálnak az alábbi biztonsági funkciók:

- a) a reaktivitás szabályozása;
- b) hőeltávolítás a besugárzott fűtőelemekből;
- c) a radioaktív anyagok visszatartása.

A reaktor üzemének szabályozása:

atomreaktor szabályozása ([34])

a szabályozás lehetőségeit a reaktortérben levő neutronok

- sebességének (lassításának) vagy/és
- számának (neutron elnyelő anyag elhelyezésével történő) szabályozása jelenti.

neutronok számának szabályozási lehetőségei:

- a moderátor vízkezegebe bóros víz juttatása
- bórvegyületeket tartalmazó szilárd szabályozórudak reaktorba juttatása.

A reaktivitás-szabályozás eszközei:

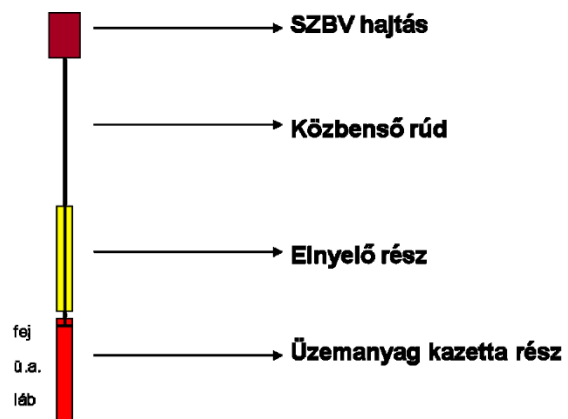
- teljesítményváltoztatás,
- teljesítménytartás,
- üzemi vagy vészleállítás,
- szubkritikus állapotban tartás
 - SZBV (szabályozó és biztonságvédelmi rudak, 5.7. ábra)
tipikus anyagok: szilárd bórvegyület (pl. bór-karbid), vagy más nagy befogási hatáskeresztmetszetű anyag (Ag, In, Hf, Gd, stb.)
 - tömény bóroldat befecskendezés (diverz rendszer)

szabályozó és biztonságvédelmi rudak részei

- üzemanyag rész
- elnyelő rúd
- közbenső rész

felső része az SZBVR (Szabályozó és Biztonságvédelmi Rendszer) hajtáshoz, alsó része a elnyelő részhez kapcsolódik.

- hajtás



5.7. ábra: Szabályozó és biztonságvédelmi rúd részei ([101] 13.)

A lassú (hosszú távú) reaktivitás-szabályozás célja a reaktivástartalék lekötése, eszközei:

- oldott bórsav
- kiegészítő mérgek
különálló rudak formájában, vagy bekeverve az üzemanyagba, vagy felvive a pasztilla külső felületére, anyaguk jellemzően Gd, B, Er, hatásuk az egyenletesebb neutronfluxus-eloszlásban is jelentkezik

6. Atomerőművi technológia

Az atomreaktor, mint a nukleáris technológia főberendezése, a nukleáris technológiába illeszkedve tölti be energiatermelő funkcióját.

Az atomerőművi technológiai rendszerek az erőművi eszközállomány részét képezik, besorolásuk/osztályozásuk egyes szempontjait a vagyongazdálkodás fejezetében tárgyaljuk.

A rendszerek nukleáris szempontú kategóriának meghatározását a következő pontban közöljük.

6.1. Atomerőművi rendszerek kategóriái

A rendszerek NBSZ által meghatározott kategóriáit a 6.1. táblázat sorolja fel ([4] 13. sz. táblázat).

6.1. táblázat: A rendszerek kategóriái

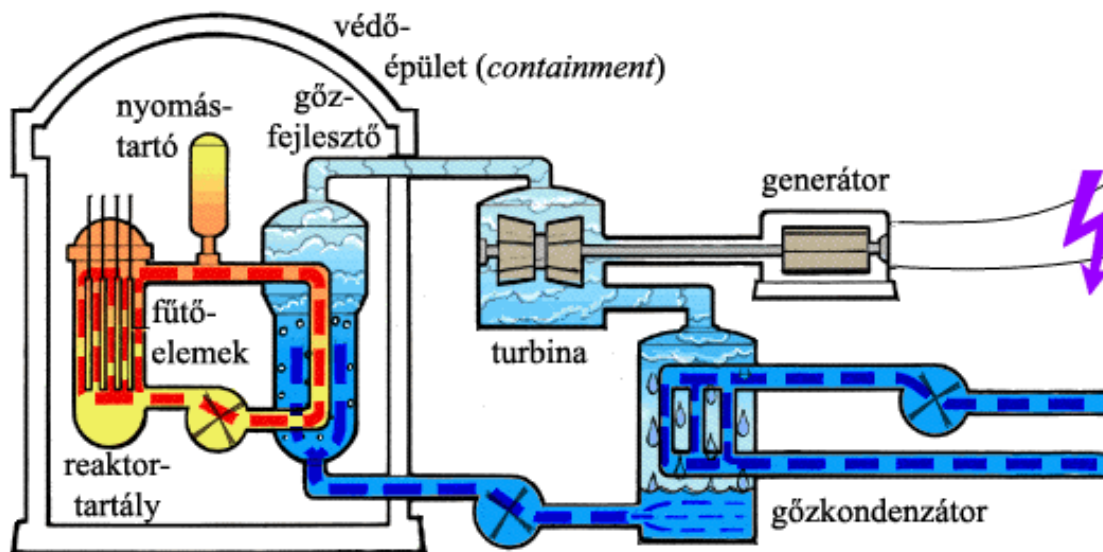
Rendszer kategória	Meghatározás
Üzemi rendszer	A normál üzemi állapotokban való működéshez tervezett rendszer (pld. primerkör, főgőz, turbina rendszer).
Biztonsági rendszer	Csak valamely tervezési alaphoz tartozó kezdeti esemény bekövetkezésekor válik szükségessé. Funkciója a biztonság fenntartása, helyreállítása, a nemkívánatos következmények enyhítése.
Kiegészítő biztonsági rendszer	A tervezési alap kiterjesztéséhez tartozó üzemzavar kezelésére betervezett biztonsági funkciót megvalósító rendszer.
Passzív biztonsági rendszer	Passzív rendszerelemekből áll. A működéshez külső vezérlés szükséges lehet (pld. szelep nyitás).
Segédrendszer	Önálló funkcióval nem rendelkezik, de rendelkezésre kell állnia más biztonsági RRE-k üzemeltetéséhez (pld. hűtővíz, elektromos energia).
Alapvető konstrukciós megoldás	Olyan RRE, amelyet nem biztonsági célból, hanem a normál üzemi funkciók teljesítéséhez terveztek (pld. reaktortartály, primer kör elemei, gőzfejlesztő, főkeringtető szivattyú, gőzvezeték, fűtőelem-burkolat), de sérülése vagy üzemzavara kihatással lehet a biztonságra.
Konténment	Az atomreaktort és az ahhoz közvetlenül kapcsolódó RRE-ket magába záró nyomásálló, hermetikus építményszerkezetek összessége, amelynek funkciója, hogy normál üzem, várható üzemi események és tervezési üzemzavarok esetén megakadályozza, vagy korlátozza a radioaktív anyagok környezetbe jutását.

Rendszer kategória	Meghatározás
Nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszer, rendszerelem	Olyan RRE, amelynek helytelen működése, vagy meghibásodása nem megengedett sugárterheléshez vezethet.
Védelmi rendszer	A reaktor üzemét monitorozó rendszer, amely a normál állapottól eltérő állapot érzékelése esetén automatikusan olyan beavatkozást indít, amely megakadályozza a nem biztonságos vagy potenciálisan nem biztonságos állapot kialakulását.
Biztonsági beavatkozó rendszer	A védelmi rendszer által indított beavatkozásokat végrehajtó rendszer.

A technológiai rendszerek telepítési helye a különböző építményekben és az udvartéren van. A következőkben a konténment technológiai rendszereinek áttekintésére koncentrálunk.

6.2. Atomerőművi főberendezések

A nyomottvizes reaktorral felszerelt atomerőmű általános felépítését láthatjuk a 6.1. ábrán.



6.1. ábra: Nyomottvizes atomerőmű szerkezete
(http://nagysandor.eu/nuklearis/index_pictures/pwr_hu_crop.gif)

Az atomerőmű hőtermelő egysége a
nukleáris gőzfejlesztő rendszer

- a maghasadás során felszabaduló hőenergiát ez a rendszer alakítja gőzzé, melyet a villamosenergia előállítására használnak
- hasonló funkciót tölt be, mint a hagyományos hőerőmű gőzkazánja

A korábban nem definiált primerkörü elemek/főberendezések:

gőzfejlesztő ([4] M1.1.2)

lényegében csöves hőcserélő, amely a hőcserélő csövek szekunder oldalán lévő tápvíznek adja át a hőt, melynek hatására képződik a turbinát meghajtó gőz. A gőzfejlesztőben lehűlt primerkörü hűtőközeg a hidegágakon keresztül visszaáramlik a reaktortartályba. A hűtőközeg keringtetését a hidegágakba beépített főkeringtető szivattyúk biztosítják.

térfogatkompenzátor (nyomástartó) ([4] M1.1.2 alapján)

biztosítja a blokk „nyomottvizes” működését.

A többi primerkörü berendezésnél magasabb szinten elhelyezett térfogatkompenzátorban elektromos fűtőelemek a közeget a kívánt primerkörü nyomásnak megfelelő telítési hőmérsékletre melegítik. A primerkörü többi berendezésében lévő közeg hőmérséklete körülbelül 25 °C-kal alacsonyabb a térfogatkompenzátorban lévénél, ezért ezekben nem léphet fel gőzképződés.

A térfogatkompenzátor alsó, melegággal összekötött terében folyékony hűtőközeg, a felette lévő térben a telítési nyomáson és hőmérsékleten lévő gőz található. Ha a primerkörben a nyomás az előírtnál magasabbá válik, a szabályozó rendszer a hidegágból közeget fecskendez a térfogatkompenzátor gőzterébe, ami a gőz hőmérsékletét, és ezzel a folyadéktérben lévő közeg telítési nyomását – ami azonos a primerkörü nyomásával - csökkenti.

6.3. Az energiatermelő rendszer kialakítása

Az atomerőműveknél két alapvető kapcsolást – a két- és egykörös – alkalmaznak. A technológiai megoldások gyakorisága, és a hazai alkalmazás szempontjából, a kétkörös kapcsolat ismerete elengedhetetlen. A teljes atomerőművi problémakör megértése, átlátása szempontjából szükséges az egykörös kapcsolási mód ismerete is.

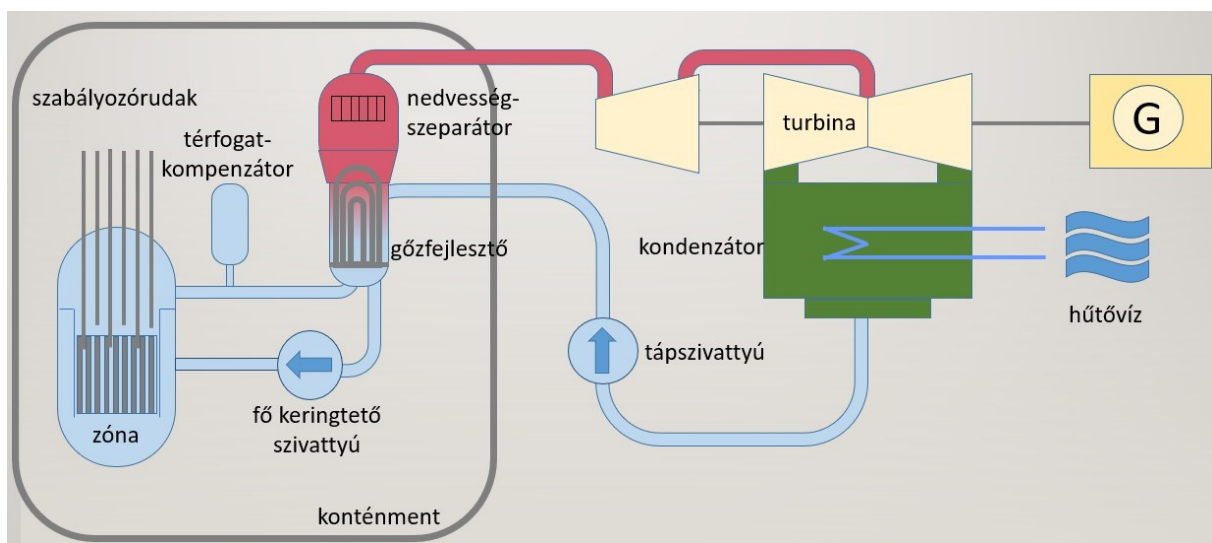
6.3.1. Kétkörös atomerőművi kapcsolás

A nyomottvizes reaktorok jellemző kapcsolási módja a kétkörös megoldás (6.2. ábra).

kétkörös atomerőművi kapcsolás ([100] 7)

a reaktorban felszabadított hő az egyik (primer) körben keringtetett hűtőközeg egy hőcserélőben adja át egy másik (szekunder) vízkörnek, ahol a turbinák meghajtásához használt gőz fejlődik és felhasználásra kerül.

Nyomottvizes reaktornál a primerköri nyomás kb. 150-160 bar. A szekunder kör hagyományos víz-gőz kör, kb. 45-70 bar nyomással



6.2. ábra: Kétkörös atomerőművi kapcsolás ([100] p.: 7.)

6.3.2. Egykörös atomerőművi kapcsolás

A BWR (Boiling Water Reactor) forralóvizes reaktor technológiai rendszere az alábbiakkal jellemezhető:

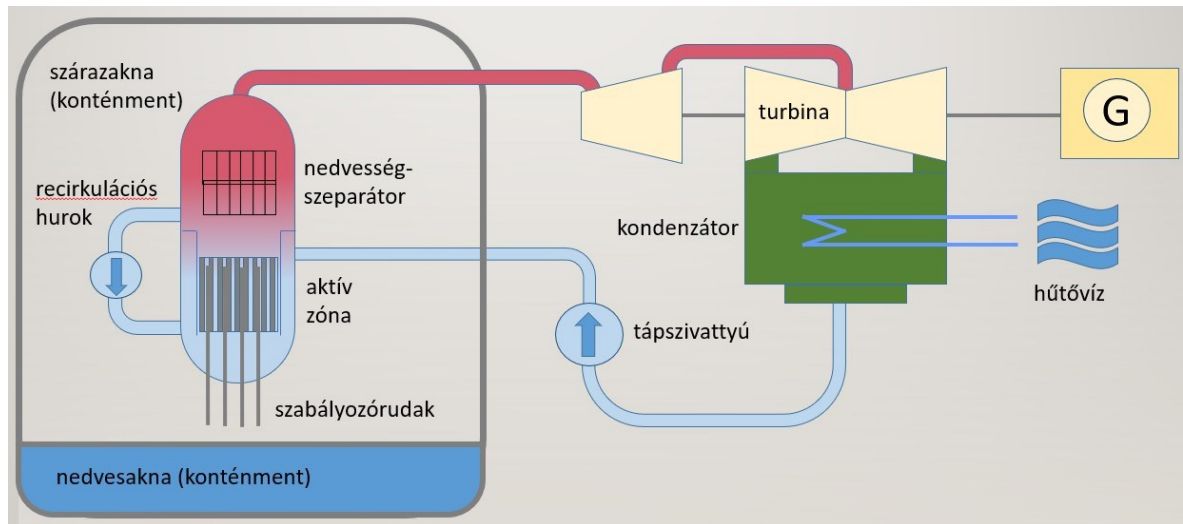
egykörös atomerőművi kapcsolás ([100])

a korszerű energetikai BWR-ben nincs a PWR-re jellemző, elkülönülő primer és szekunder kör. A turbinát meghajtó gőz az aktív zónában termelődik. A reaktorban moderátorként és hűtőközegként közönséges (könnyű) víz szolgál. A primer körben a kétkörösre jellemzőnél alacsonyabb a nyomás (~6,9-7,2 MPa), a víz forráspontja ~285 °C.

A reaktor úgy van megtervezve, hogy a zóna felső részében a kétfázisú hűtőközeg tömegének 12-15%-a gőz (6.3. ábra). Jellemző az

- alacsonyabb fokú moderáltság
- alacsonyabb hasadási sűrűség
- alacsonyabb teljesítmény-sűrűség mint a zóna alsó részében

A rendszer a kétkörösre jellemzőnél alacsonyabb erőmű hatásfokkal (32-34%) működik.



6.3. ábra Egykörös művi kapcsolás ([100] p.: 5.)

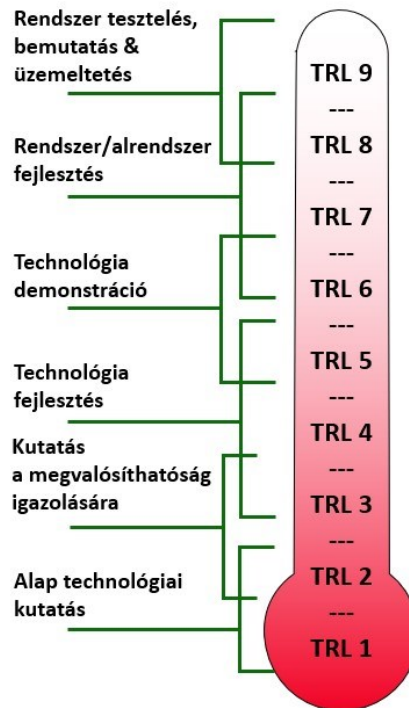
6.4. A technológia érettsége

Az alkalmazandó technológia fejlettsége, kidolgozottsága, másszóval érettsége meghatározza a nukleáris projekt lebonyolításának gazdasági jellemzőit, alapvetően befolyásolja a tervezett létesítmény működésének biztonságát.

Az, hogy mennyire ismerjük a technológiát, nem feltétlenül szubjektív megítélés kérdése. Az érettség mérésére dolgozták ki a technológiai fejlettségi szint értékelésének rendszerét, mérőszámait.

technológiai fejlettségi szint - TRL, technology readiness level
az új technológiai fejlesztés értékelésének mérési rendszere. Segítségével meghatározható a fejlesztett technológia érettségére jellemző mérőszám.

A rendszert az 1970-es években a NASA-nál dolgozták ki, de ma már széles körben alkalmazzák (6.4. ábra). A rendszer átvétele egy példa a biztonságkritikus szakmai területek együttműködésére.



6.4. ábra: Az érettségi jellemzők skálája (Beaty, R. (2010))

A 9 fokozatú skála kisebb számai a kutatás különböző fázisait jelölik. A kilences, a legmagasabb, a piaci bevezetés érdekében elvégzett igazolási periódust jelzi. A gyakorlatban az egyes fázisok közötti határ nem minden esetben húzható meg élesen. Ezt mutatja a skála ábrázolása, amely a fázisokat egymásba metszve, egymást részleges átfedve jeleníti meg.

Az érettséget jellemző TRL számok meghatározása a (TRA) technológiai érettség értékelési folyamat során történik. TRL ismerete megkönnyíti a kutatás előrehaladásának nyomon követését és az ipari alkalmazásra leginkább megfelelő technológiák kiválasztását.

https://hu.frwiki.wiki/wiki/Technology_readiness_level,
https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level

A következő táblázat a fázisokat egyszerűsítve mutatja be, a kutatás, fejlesztés és bevezetés fázisairól beszélünk.

A technológia fejlettségi számaihoz a 6.2. táblázat rövid meghatározást rendel, mely az alapkutatástól az üzemeltetésig terjed. A legmagasabb fokozat az üzemi körülmények közötti működés. Ez igazolja/biztosítja a kívánt technológiai fejlettségi szint elérését. Ilyen szempontból fontos és érthető a referencia atomerőmű szerepe, melynek működésével bizonyítható a megfelelő fejlettségi szint elérése.

6.2. táblázat: TRL meghatározások

TRL	Fejlesztési stádium	Technológiai fejlettségi szint
1.	Kutatás	Megfigyelt és ismertetett alapelvek
2.		Technológiai koncepció és/vagy alkalmazás megfogalmazása
3.		Koncepció igazolása
4.	Fejlesztés	Technológia laboratóriumi ellenőrzése
5.		Technológia bemutatása a releváns környezetben
6.		Technológia validálása a releváns környezetben
7.	Bevezetés	Rendszer kész és minősített
8.		Rendszer prototípus bemutatása üzemi környezetben
9.		Rendszer üzemi környezetben bizonyított (kulcsfontosságú alaptermőtechnológiák esetén versenyképes gyártásra kész)

<https://www.origo.hu/nagyvilag/20220913-paks-iiatomeromu-meggyozo-az-orosz-mintaeromu-szentpetervar-mellett.html>

Az atomerőművi létesítésben és az üzemeltetés előkészítésében nagy jelentőséggel bír a 9-es számmal értékelt referencia megléte (6.5. ábra).



6.5. ábra: Innovatív 3+ generációs VVER-1200-as reaktor, Leningrádi Atomerőmű II-es kiépítés, a Paks II. atomerőmű referenciaerőműve

<https://www.origo.hu/nagyvilag/20220913-paks-iiatomeromu-meggyozo-az-orosz-mintaeromu-szentpetervar-mellett.html>

A referencia erőmű szakirodalmi definíciója szerint a

referencia erőmű (ANS (2019))

az a konkrét atomerőmű, melynek a szimulátor vezérlőterme konfigurációját, a rendszervezérlési elrendezését és a szimulátor adatbázisát átvették az új atomerőmű tervezésénél.

7. Atomerőművi építészet

Az iparágban használatos építészet fogalmkörébe szűkebb értelmezésben az építészet, és az építőmérnöki szakterület szakágai, a

- szerkezetépítés (tartószerkezetek),
- közlekedésépítés és
- vízépítés, közműépítés

szakterületek tartoznak. Ezekhez kapcsolódnak az

- épületgépészet,
- villamos installáció és az
- építményekkel kapcsolatos további követelmények kielégítését biztosító szakágak (további gyengeáramú rendszerek, akusztika, tűzvédelem stb.).

Utóbbi szakterületek csoportba sorolása a megvalósításban közreműködő szervezetek belső szervezeti struktúrájától is függhet. Egyes feladatokat a technológiai szakterület felelősségi körébe utalhatnak. A feladatmeghatározás során a bevonandó szakterületek körét pontosítani szükséges. Alábbiakban az építész és tartószerkezet tervező szakmai területébe tartozó főbb részleteket tárgyaljuk.

7.1. Telephely elrendezés

A kiválasztott telephelyen épülő atomerőmű elrendezése a telepítési tervezés eredményeként áll rendelkezésünkre (7.1. ábra).



7.1 ábra: Paks II. atomerőmű elrendezése ([23])

A példaként beillesztett elrendezés jól mutatja az erőmű kiterjedését és építményeinek változatosságát. A megtermelt villamosenergia kiadása az atomerőmű villamos szabadtere berendezései segítségével történik. Egy hálózati nagyállomás elrendezését példaként mutatja a 7.2. ábra.



7.2. ábra: Transzformátor állomás elrendezése

7.2. Általános célú és ipari építmények

Az építmények (esetenként a szerkezetek) szakmai besorolása meghatározza a velük kapcsolatos szakmai és nukleáris követelményeket, a kivitelezésükhöz szükséges szervezeti felkészültség elvárásait.

A fejezetben az építmények szakmai besorolási lehetőségeit ismertetjük.

7.2.1. Építménycsoportok

Az atomerőművi építmények listáját a létesítményjegyzék (építményjegyzék) tartalmazza.

építmény (ÉTV. 2. § alapján)

építési tevékenységgel létrehozott, illetve késztermékként az építési helyszínre szállított, – rendeltetésére, szerkezeti megoldására, anyagára, készültségi fokára és kiterjedésére tekintet nélkül – minden olyan helyhez kötött műszaki alkotás, amely a

- terepszint,
- víz vagy azalatti
- talaj, illetve afeletti
- légtér

megváltoztatásával, beépítésével jön létre. Az építmény az épület és a műtárgy gyűjtőfogalma.

Az építményeket általában az alábbiak szerint csoportosíthatjuk:

- Rendeltetés és szabályozás
 - általános célú építmények
 - sajátos építmények
- Rendeltetés és kialakítás
 - épület
 - műtárgy
- Egyéb szempontok

Fő szempontnak tekinthetjük az első helyen álló osztályozási fogalmat:

rendeltetés (OTÉK 1. mell. 60.)

az a használati cél, amelyre az építmény, az önálló rendeltetési egység vagy a helyiség létesül, illetve amire használják.

A technológiával kapcsolatos megközelítésekben a hasonló tartalmú funkció fogalma használatos (ld. reaktor szabályozása).

A rendeltetés több esetben különböző szakterületek igényeinek kielégítéséhez köthető, mely szakterületek saját igényüknek megfelelően, az általános követelményeken túl, vagy helyett, saját követelményrendszert támasztanak az építményekkel szemben. A sajátos építmények csoportjában ez döntő szempont. Az általános érvényű, élet- és vagyonbiztonsággal, munkavédelemmel kapcsolatos követelmények speciális kiegészítést kapnak és kiegészülnek további funkcionális igényekkel.

Az atomerőmű építményei mind az általános célú, mind a sajátos építmények csoportjába sorolhatók. A sajátos építmények köre:

sajátos építményfajták (Étv. 2. § 18.)

többnyire épületnek nem minősülő,

- közlekedési, hírközlési,
- közmű- és energiaellátási,
- vízellátási és vízgazdálkodási,
- bányászati tevékenységgel és a
- bányászati hulladék kezelésével kapcsolatos,
- atomenergia alkalmazására szolgáló, valamint a
- honvédelmi és katonai, továbbá a
- nemzetbiztonsági célú, illetve rendeltetésű,

sajátos technológiájú építmények, amelyek létesítésekor - az építményekre, építési tevékenységekre vonatkozó általános érvényű településrendezési és építési követelményrendszeren túlmenően - eltérő, vagy sajátos, csak arra a

rendeltetésű építményre jellemző, kiegészítő követelmények megállapítására és kielégítésére van szükség.

A teljesség kedvéért megemlítenéd egy sajátos építményfajta, a

nyomvonal jellegű építmény (ÉTV. 2. § alapján)

vasúti pálya, függő- és szállítoszalag-pálya, út, vízellátási vezeték, csatorna, egyéb gáz- és gáztermékek vezetéke, olajvezeték, villamosenergia-átviteli és elosztóhálózat, távhővezeték-hálózat, az elektronikus hírközlési építmény stb.

A tervezés és kivitelezés folyamataiban a szakmai feladatok szakterületi meghatározását az építmény jellege határozza meg. Mind az általános célú, mind a sajátos építményfajták az alábbi csoportokba sorolhatók:

épület (Étv. 2. § 10.)

jellemzően emberi tartózkodás céljára szolgáló építmény, amely szerkezeteivel részben vagy egészben teret, helyiséget vagy ezek együttesét zárja körül meghatározott rendeltetés vagy rendeltetésével összefüggő tevékenység, avagy rendszeres munkavégzés, illetve tárolás céljából.

műtárgy (Étv. 2. § 15.)

mindazon építmény, ami nem minősül épületnek és épület funkciót jellemzően nem tartalmaz (pl. út, híd, torony, távközlés, műsorszórás műszaki létesítményei, gáz-, folyadék-, ömlesztett anyag tárolására szolgáló és nyomvonalas műszaki alkotások).

7.2.2. Ipari építmények

Az ipari építményeket általában az alábbi szempontoknak megfelelően csoportosíthatjuk:

- építészeti konstrukciók, azaz a technológiai berendezések és az építészeti konstrukciók közötti fizikai (térképzési és szerkezeti) kapcsolat módjai
- épület esetleges technológiai funkciói, a technológiai rendszer elemeként

Fentiek alapján az ipari építmények csoportjai ([17]) Bevezetés felhasználásával):

- csarnok
- többszintes rendszerű épületek
 - könnyű, kisméretű gépeket magában foglaló építmény
 - terjedelmes, több emeleten átfutó berendezésekkel felszerelt üzem

- épületnyi méretű berendezéseket és technológiai műtárgyakat tartalmazó (pl. kazán) építmény. Jellemzője a technológiai konstrukció és az építési szerkezetek összefonódása
- kettős rendeltetésű építmény, amely épületfunkcióin kívül, egyes üzemállapotokban, technológiai funkciókat tölt be (pl. atomerőművi konténment szerkezet nyomástartó funkciója)

Az általánosan használt csoportosítást a konténment különleges szerepe és kialakítása szakmai környezetbe helyezése érdekében egészítettem ki az utolsó elemmel.

7.3. Atomerőművi építmények

Atomerőművi projekt építményeit az alábbiak szerint sorolják be:

nukleáris létesítménnyel és radioaktív hulladék-tárolóval összefüggő építmény (Atv. 2. § 53.)

- a nukleáris biztonság szempontjából fontos, így különösen a radioaktív anyagok környezetbe jutását megakadályozó, és a sugárterhelés csökkentésére szolgáló, továbbá
- a biztonsági funkciók megvalósulásához közvetlenül szükséges építmények,
- a nukleáris biztonság szempontjából fontos gépészeti, villamos és irányítástechnikai rendszereket és rendszerelemeket tartalmazó épületek,
- a nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerekre, rendszerelemekre közvetlen hatást gyakorolni képes építmények,
- a nukleáris létesítmény és a radioaktív hulladék-tároló fizikai védelmében szerepet játszó építmények és építményrészek, továbbá
- a telephelyi nukleáris baleset-elhárítási tevékenység végrehajtását közvetlenül kiszolgáló épületek és
- a nukleáris biztonság szempontjából sajátos építmények, amelyek a nukleáris létesítmény és radioaktív hulladék-tároló létesítéséhez szükségesek és nincs szerepük a létesítmény üzemeltetésében, valamint
- azon építmények, amelyek vagy amelyeknek egyes részei a biztonsági övezethez tartoznak.

atomenergia alkalmazására szolgáló építmény (Atv. 2. § 52.)

- a nukleáris létesítmény és
- a radioaktív hulladék-tároló, valamint
- az ezekkel összefüggő építmény

létesítéshez szükséges, üzemeltetéshez nem szükséges építmények (Na.38. 2.1)

- azon kivitelezéshez szükséges kiszolgáló építmények, amelyeknek az atomerőmű üzemeltetésében nincs szerepük.

Az atomerőmű megvalósítása során el kell készíteni mind az atomerőmű (kerítésen belüli), mind a létesítéshez szükséges, üzemeltetéshez nem szükséges (kerítésen kívüli) építményeket.

Mindkét telephelyen általános és ipari célú építményeket kell felépíteni. Az építmények között különbség lehet tervezési élettartam tekintetében (és ennek meghatározó szakmai tartalmával kapcsolatban). A technológiai építmények elvárt tervezési élettartamát a technológia tervezett élettartama és a leszerelés tervezett időtartama alapján kell meghatározni. A tervezés alatt álló atomerőmű technológiai építményeit, fentiek alapján levezetett igény alapján, az általános célú építmények 50 éves tervezett élettartamával szemben a 100 éves tervezett élettartam igénynek megfelelően kell megvalósítani.

Az atomerőművi építmények funkcionális csoportjai (3+ generációs atomerőművek esetén) a:

- nukleáris sziget (nuclear island, NI)
- turbinasziget (turbine island)
- erőművi kiegészítő rendszerek (balance of plant, BOP)

Az atomerőművi építmények minta-jegyzékét, a fentiekben részletezett elveknek megfelelő bontásban, a Függelék tartalmazza.

7.4. Építési szerkezetek

Az építményszerkezetek hagyományosan két fő csoportba sorolhatók, a tartószerkezetek és a nem teherhordó (térelhatároló) szerkezetek csoportjába.

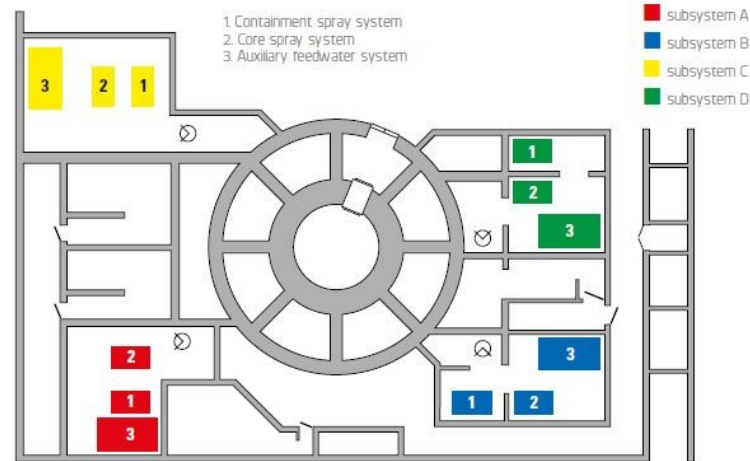
tartószerkezetek

azon építményszerkezetek, melyek feladata az építmény terheinek felvétele, illetve a terhek átadása, továbbá az építmény, illetve a vele összefüggő rendszerelemek állékonyságának és stabilitásának biztosítása.

térelhatároló elemek

azon nem tartószerkezeti rendeltetésű építményszerkezetek, melyek feladata az egyes térrészek, épületrészek elhatárolása, elválasztása.

A főleg térelhatároló funkciójú elemek vizsgálatánál, atomerőmű esetén, kellő óvatossággal kell eljárunk. Az építmény egésze szempontjából figyelembe nem vett szerkezeti elem támaszként, rögzítő elemként szolgálhat a technológiai rendszerek, rendszerelemek számára (7.3. ábra). Más esetben védelmet biztosít ezek számára. Ilyen követelménynek megfelelően készülhetnek, pl. a konténment baleseti helyzetben védelmet biztosító belső falai. Ezek a védőszerkezetek, belső, robbanás jellegű terhelés lökőhulláma hatására nagy (vízszintes irányú) terhelésnek lehetnek kitéve.



7.3. ábra: Biztonsági hűtővízrendszerek alrendszerének telepítése.
A szerkezet kialakítása a fizikai elválasztás elvének alkalmazásával

Az egyes építményszerkezetek funkcióját és minősítését mindezen hatások összességének számbavétele alapján kell megítélni.

A szakipari szerkezetek (bevonatok, szigetelések stb.) is szerkezetnek tekinthetők. A védőszerkezet megfogalmazása erre a körre is kiterjeszti a nukleáris területen nevesíthető védelem körét.

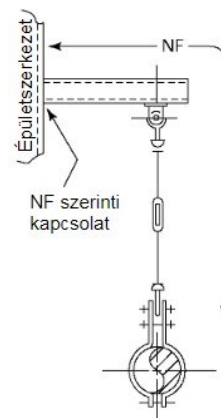
védőszerkezet (N3a. 8. 2.1 és N3a.39.2.1 alapján)
védelmi funkciót ellátó szerkezetek. A védelem lehet fizikai, kémiai és biológiai. Idetartoznak a repülő tárgy és a repülőgép becsapódás hatása elleni védelmek, a **biológiai védelem, bevonatok és a szigetelések**.

A technológiai berendezések/rendszerek közötti tervezési határ a tervezői felelősség és a kivitelezői feladatmeghatározás, későbbiekben az üzemeltetés szempontjából fontos kérdés (ld. például 7.3. ábra).

A technológiai rendszerek és építmények elválasztásának, illetve csatlakozásának határfelületeit meg kell határozni az

- egyértelműség
- ellenőrizhetőség
- átlátható felelősségmegosztás

érdekében. A határfelületeken a szerkezeti kapcsolat jellemző adatait a technológia tervezőjének meg kell határozni.



7.3. ábra: Csőtartók és épületszerkezetek közötti
érvényességi határ (MSZ 27003-1:2013, NF-1132-1.
ábra).

A kapcsolatok fizikai megvalósítása következtében, legtöbb esetben a bebetonozott lemez jelenti a kapcsolódást, illetve a kapcsolódás fizikai határát.

8. Konténment

Az atomerőművi konténment a teljes primerköri reaktor komplexum telepítési helye (a generátor, a gőzturbina, a segédépületi berendezések és az ezeket összekötő csővezetékek, a biztonsági épületben levő biztonsági rendszerek berendezései a konténmenten kívül vannak).

A fejezet célja, hogy összefoglalja az atomerőművi konténment speciális jellegzetességeit. A különlegességek dimenziói a

- konténment rendszeralapú szemlélete és a
- konténment szerkezet különleges, kettős célú rendeltetésének felismerése és kezelése.

Az ipari épület funkciónak megfelelő építészeti kialakítás épületszerkezeti összetevőit/elemeit (pl. nyílászárók, burkolatok tb.) az iparai épülettervezés tárgyalja. Jelen fejezetben ezek közül a technológiai funkció betöltésével kapcsolatos különleges részletekre utalok.

8.1. A konténment rendszerei

Az atomerőművi konténment szerepét a nagy reaktorok telepítési helyére/építményére vonatkozó követelmények kielégítése szempontjából elemezzük. Az alapvető igényeket a konténment elvárt funkciói jelölik:

konténment funkció (N3a.39.3.2)

- a) rendszerek elhatárolása a környezettől
- b) biológiai védelem
- c) radioaktív anyagok környezetbe jutásának megakadályozása
- d) teherviselés
- e) rendszerek védelme a külső hatásoktól
- f) térbeli szétválasztás
- g) védelem a belső veszélyeztető tényezőktől

Fenti funkcióhoz köthető követelmények kielégítése összetett és bonyolult technológiai rendszerrel biztosítható (IAEA (2019B)). A rendszerek telepítési helyeként szolgáló konténment szerkezete maga is rendszernek tekinthető. Számba véve a funkcióleírásban meghatározottakat, látható, hogy az ipari épületek szokásos követelményeit jóval meghaladó terjedelmű és igény szintű szerkezeti megoldások kialakítására van szükség.

8.1.1. A sugárzó anyag visszatartásának funkcionális megoldásai

A második, és harmadik generációs atomerőművekben a reaktorokat konténmentbe foglalják.

konténment - containment

- a) az atomreaktort és annak közvetlenül kapcsolódó rendszereit, rendszerelemeit magába záró nyomásálló, hermetikusan kialakított épületszerkezetek összessége, amelynek az a funkciója, hogy normál üzem, várható üzemi események és tervezési üzemzavarok esetén megakadályozza, vagy korlátozza a radioaktív anyagok környezetbe jutását. (NBSZ 10.100.)

A kettőscélú építménnyel kapcsolatban a szerkezeti rendszerre vonatkozó fejezetben mondottaknak megfelelően, a konténment nyomástartó berendezésnek minősíthető. A szabályozás jelenleg nem sorolja be ebbe a csoportba (ld. NBSZ 10.138.), a nyomásszállóság biztosítását más helyen szereplő rendelkezéssel kezeli:

A konténment szilárdsági méretezésére a nyomástartó berendezésekre és csővezetékekre vonatkozó általános elveket kell alkalmazni, figyelembe véve a teherviselő szerkezet anyagával és konstrukciójával összefüggő sajátosságokat (3a.4.6.0600.).

- b) A konténment olyan szerkezet, amely fizikai védelmet biztosít a nukleáris energiatermelő rendszernek. Fő feladata (N3a.39.2.1)
- nyomáshatároló falként megakadályozza a rendszerből kilépő radioaktív vagy veszélyes anyagok határértéken felüli szivárgását, illetve
 - biztosítsa az esetlegesen kijutott anyagok elvezetését, tárolását vagy ellenőrzött ártalmatlanítását
- c) radioaktív anyagok kibocsátásának és szétszóródásának megakadályozására vagy szabályozására tervezett módszerek vagy fizikai struktúrák. (IAEA (2019))

A meghatározások közötti különbségre az is magyarázatul szolgál, hogy a radioaktív anyagok szállításához használt nagyméretű edényt (a konténert) ugyancsak konténmentnek tekintik. Anyagunkban kizárólag atomerőművi konténmenttel foglalkozunk.

A szakmai fogalmak értelmezése még ma sem egységes a konfinement jelentésével kapcsolatban.

konfinement (IAEA (2019) alapján)

- a) radioaktív anyagok környezetbe történő kibocsátásának megelőzése vagy szabályozása üzemelés vagy baleset esetén.
- b) nukleáris installáció szakmai terület: a konfinement (bezárás) jelentésében szorosan összefügg a konténment jelentésével, jellemzően a radioaktív anyagok „kiszökésének” megakadályozására szolgáló biztonsági funkcióra utal, míg az elzárás funkció biztosításának eszköze a konténment.
- c) nukleáris anyag szállítása szakmai terület: a konfinement fogalma a kritikusság megelőzésével kapcsolatos, a konténment a radioaktív anyagok kibocsátásának megakadályozására vonatkozik.

Az utóbbi évek gyakorlatában a konfinement a konténment funkciót tartalmazó tervezési/konstrukciós elvként jelenik meg.

8.1.2. A konténment rendszer összetevői

Az általános gyakorlatnak megfelelően tárgyalásunkat technológiai és építészeti szakmaterületekre bontjuk.

8.1.2.1. Konténment technológiai rendszer

A konténment technológiai rendszerei a nukleáris technológia lényeges alkotóelemei. A technológia rendszerei alábbi csoportokba sorolhatók:

primer kör (N3.1.2.1)

az aktív zónát és annak hűtőközegét tartalmazó nyomástartó rendszer a hozzájuk kapcsolódó csővezetékekkel a második visszacsapó vagy elzáró szelepig, ill. kifolyásgátlóig. Részei:

- a) a reaktortartály
- b) a főkeringtető hurkok
- c) a gőzfejlesztők primer kollektorai és hőátadó csövei
- d) a térfogat-kompenzátor és ezt a főkeringtető hurkokkal összekötő csővezetékek.

szekunder kör

- a gőzfejlesztők tápvízoldali része
- a főgőzrendszer
- a turbina nagy és kisnyomású elemei
- a kondenzátor és kondenzátum rendszer
- a tápvízrendszer

rendszereket magába foglaló csoport. Legfőbb feladata a gőzfejlesztőben termelt gőz energiájának átalakítása a turbinában forgómozgássá, ami a generátort meghajtja.

A felsorolt rendszerek közül a gőzfejlesztő tápvízoldali része, a főgőzrendszer egy része és a tápvízrendszer egy része van a konténmentben.

Más megközelítésben, funkcionális szerepük alapján a

konténment technológiai rendszer összetevői (NBSZ 3.4.6.1300. és [24] alapján)

- a) primer kör minden lényeges része,
- b) nyomások és hőmérsékletek szabályozására képes (éghető gázok kezelése, hőelvonó) rendszerek,
- c) hermetizáló elemek (szerelvények),
- d) konténment légterébe kikerülő hasadási termékek, hidrogén, oxigén és egyéb anyagok kezelésére és eltávolítására szolgáló eszközök (szellőzés és légtér tisztítás, olvadék felfogás).

A ma korszerűnek tekintett atomerőművek konténment rendszerei, a korábbi generációk technológia rendszerein túlmenő újabb biztonsági berendezéseket, elemeket tartalmaznak (8.1. és 8.2. ábra).



8.1. ábra: Hidrogén rekombinátor (hidrogénégetés) ([22])



8.2. ábra: Core catcher (olvadék csapda) ([22])

8.1.2.2. Konténment szerkezeti rendszer

A tervezés kiindulásakor ismernünk kell a konténment szerkezetének funkciót.

konténment fő funkciói (N3a.39.3.2.)

- a) elhatárolja és leválasztja a környezettől azokat a szerkezeteket, rendszereket és rendszerelemeket melyek meghibásodása a radioaktív anyagok nem megengedett mértékű környezetbe kerülését okozhatja,
- b) megakadályozza vagy korlátozza a radioaktív anyagok környezetbe jutását, ha a fővízkör nyomástartó kontúrja sérülne, továbbá bármely radioaktív anyagot tartalmazó RRE nem töltene be megfelelően a funkcióját,
- c) a reaktor berendezésnek és kapcsolódó rendszereinek megfelelő védelmet nyújt a külső hatások ellen.

konténment egyéb funkciói (N3a.39.3.2.)

- a) biológiai védelem,
- b) teherviselés,
- c) térbeli szétválasztás,
- d) védelem a belső veszélyeztető tényezőktől.

A szerkezet szerepének összetettsége azzal jár, hogy

- a normál üzemeltetés állapotában az ipari épületek szokásos funkcióinak megfelelő épület funkciót tölt be, biztosítja a rendszerek működéséhez, az üzemeltetési, karbantartási tevékenységekhez szükséges belső környezeti feltételeket
- üzemzavari/balesetkezelési üzemállapotban a technológiai rendszer egyik rendszerelemként kell működnie, a radioaktív anyagok visszatartása alapvető biztonsági funkciót teljesíti. Ezt a működési formát gépésztechnológiai megközelítéssel nyomástartó berendezésként modellezzük

Fentiek azt jelentik, hogy a konténment szerkezet kettőscélú építmény. Normál üzemi állapotában épületként funkcionál, üzemzavar/baleset esetén alapvető biztonsági funkciót betöltő rendszerelemként működik.

Kettőscélú építmények más területeken is léteznek (pl. a metró alagutak egyes szakaszai háborús helyzetben óvóhelyként funkcionálhatnak), a fentebb leírt funkciópárosítás mégis különlegesnek számít. Szerző nem ismer más olyan megoldást, ahol a kettős rendeltetés az épület funkció és a technológiai működés megteremtését egyaránt igényli.

8.2. A konténment szerkezeti rendszer kialakítása

8.2.1. A szerkezet kialakításának technológiai szempontjai

Az erőmű átfogó gazdasági és termohidraulikus teljesítményének optimalizációja szempontjából a

- reaktor, a
- hőeltávolító rendszer és a
- konténment szerkezete

egy integrált szerkezeti rendszernek tekintendő ([24]). A szerkezet részleteinek főbb meghatározói a

- nukleáris gőzfejlesztő rendszer kialakítása
- feltételezett üzemzavar következményei csökkentésének követelményei
- konténment által visszatartott nyomás nagysága, amely LOCA (loss of coolant accident) vagy súlyos balesetek során keletkező gőz nyomása

A szerkezet kialakításának szempontjai

- a) üzemzavari állapotban a technológiai rendszer egyik rendszerelemként kell működnie, mely működési módot gépésztechnológiai megközelítéssel nyomástartó berendezésént modellezzük és a szerkezetet ez alapján méretezzük
- b) olyan rendszerelemnek tekinthető, melynek működését, biztonsági funkciójának teljesítését más rendszerelemek segítik
- c) a konténment szerkezete a mélységi védelem negyedik, egyben utolsó fizikai gátja a radioaktív anyagok kijutásának megakadályozására.

Az atomerőmű komponenseinek térbeli elrendezésének, az építmények egymáshoz való elhelyezésének, illetve a helyiségek építményen belüli elhelyezésének biztonsági szempontból fontos szerepe van. Az elrendezés legfontosabb aspektusai a

- kiszolgálhatóság, az
- ember-gép kapcsolat és a
- sugárvédelem.

A belső helyiségek vagy térrészek között megfelelő méretű átvezetésekről kell gondoskodni, hogy a nyomáskülönbség vagy a konténment közegének nagy áramlási sebessége ne okozzon károsodást a szerkezetben, vagy más rendszerelemben (3a.4.6.0900.).

8.2.2. A szerkezeti rendszer összetevői

Az összetett igényeknek megfelelő konténment szerkezeti rendszer részei:

konténment rendszer

a konténment szerkezet és a társított alrendszerek alkotják. A konténment szerkezeti rendszerének legalább a következő alrendszereket kell tartalmaznia:

- a) a konténment szerkezete és kapcsolódó komponensei (különböző belső, építész szerkezetek és teherhordó szerkezeti elemek). Ezek tervezése és megvalósítása építőipari feladat.
- b) izoláló elemek (a hermetikus tér határának izoláló elemei: zsilipek, nyílások (lezárások), kapuk). Az izoláló elemek nyitott vagy zárt állapotát ellenőrizni kell, és be kell kapcsolni az irányítástechnikai rendszerbe.
- c) hermetizáló elemek, melyek az üzemzavar utáni állapotban is teljesítik funkciójukat (hermetikus burkolat (beton esetében), cső- és kábelátvezetések, hermetizáló szerelvényei).

- d) A konténment funkcionális működéséhez szükséges hermetizáló szerelvények beépítése rendszerint az átvezetés technológiai megoldásai közé sorolandó, itt az átvezetés környezetéhez való kapcsolódás (esetleges tartózás igénye) miatt szerepel.

Az útmutatóban a nyomáshatároló szerkezettel, szerkezeti elemekkel foglalkozunk, a belső szerkezeti rendszer összetevőit/részleteit nem tárgyalom.

8.2.3. A szerkezetek osztályozó jellemzői

A megvalósult és tervezett konténmentek osztályozó jellemzői a következők:

- kialakítás és szerkezeti rendszer
 - egyes (szimplafalú)
 - kettősfalú
- szerkezet alkalmazása az elhatárolásra.

Kettősfalú kialakítás külső szerkezete védőépületként készülhet, amely nem része a nyomáshatárnak. Elsődleges funkciója, hogy védelmet nyújt a konténment számára a külső veszélyforrások (repülő tárgyak, repülőgéprázuhanás stb.) és természeti jelenségek (pl. tornádók vagy helyspecifikus események) ellen (Naus, D. J. (2009)).

- alak (félgömb, henger, összetett, doboz)
- méret
meghatározó a nyomáscsökkentő rendszer és a reaktor típusa. A PWR konténment térfogata lényegesen nagyobb (7-10 szerez) a BWR konténment méreténél.
- anyag (fém, vasbeton, feszítettbeton)
- specifikus erőművi igények

8.3. Konténment szerkezeti változatok

A szerkezeteket különböző anyagból (beton, acél), egyes, vagy kettősfalú szerkezeti megoldással készítik.

A korszerű konténmentek mindegyikének fő szerkezeti eleme a héjszerkezet.

héj(szerkezet) ([6])

egy vagy két irányban görbült középfelületű felületszerkezet.

felületszerkezet ([6])

felületszerű kiterjedésű, egyéb méreteihez viszonyítva aránylag kis falvastagsággal bíró szerkezet. A falvastagságot felező felületet a szerkezet középfelületének hívjuk.

A héjak kialakítását az általános és speciális szempontok, illetve a helyi építési tapasztalatok határozzák meg.

Kettős- és szimplafalú konténment

A kettősfalú szerkezet felépítése (N3a.39.3.3) a 8.3. ábrán bemutatva

- külső héjelem(ek)
- belső szerkezetek
 - reaktorakna
 - pihentető medence
 - földemek
 - térelhatároló szerkezetek
 - technológiai rendszerek tartószerkezeti elemei



8.3. ábra: Kettősfalú konténment ([22])

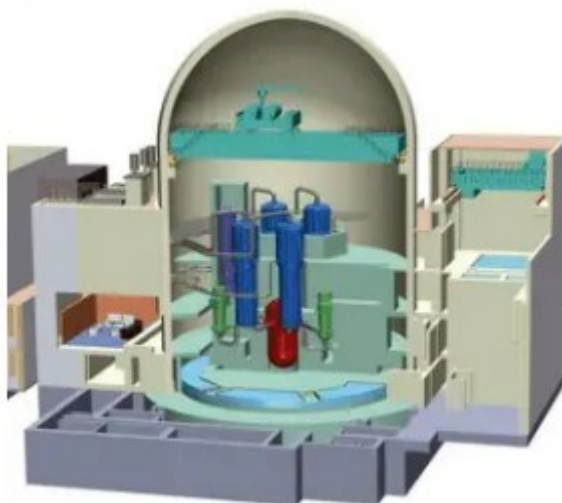
A belső héjnak, mint elsődleges szerkezetnek, meghatározó szerkezeti funkciója a nyomással és hőmérséklettel szembeni ellenállóképesség. A külső héj fő funkciója, másodlagos szerkezetként, a külső veszélyeztető tényezőkkel szembeni ellenállás, valamint a belső héjon átkerülő radioaktív anyag izolálása.

A két héj közötti térben elhelyezhetők egyes biztonsági rendszerek, pl. üzemzavari zónahűtő rendszer.

A két héj közötti térbe üzemzavar során kiszivárgott anyagot levegőszűrős légszivattyúkkal kell eltávolítani, a szellőzőkéményen keresztüli kibocsátást ellenőrizni kell.

A konténmenten belüli szerkezetek rendszerint teljesen függetlenek a héjszerkezettől, teherátadó szerkezeti kapcsolatok nem készülnek. A légzáró kapcsolatok oly módon alakítandók ki, hogy erőhatás átvitelét ne tegyék lehetővé. A héjszerkezet modellezése, számítása és megépítése így egyszerűsíthető.

Szimplafalú konténment (8.4. ábra) esetében a konténment funkciókat egyszeres szerkezettel kell ellátni.



8.4. ábra: Szimplafalú konténment

<https://www.nuclear-power.com/nuclear-power-plant/containment-building/>

8.4. Konténment szerkezeti típusok

A fejezetben a tervezési belső nyomás és az ennek elviselésére szolgáló tartószerkezet (héjszerkezet) megválasztási szempontjait elemezzük.

8.4.1. Nyomáscsökkentő rendszer szerinti változatok

A konténment szerkezetének kialakítását alapvetően határozza meg a baleseti körülmények között kialakuló belső nyomás nagysága. Ez alapján négy fő konténment típust különböztethetünk meg.

Teljes nyomású konténment

A teljes nyomású konténmentek családjába tartozik a nagy száraz konténment, ma ez tekinthető a korszerűbb megoldásnak. Ennél a típusnál a konténment kapacitása elegendő az adott térfogatú kiömlő hőhordozó folyadék és befecskendezett hűtőfolyadék számára valamint a felszabaduló energia fogadására.

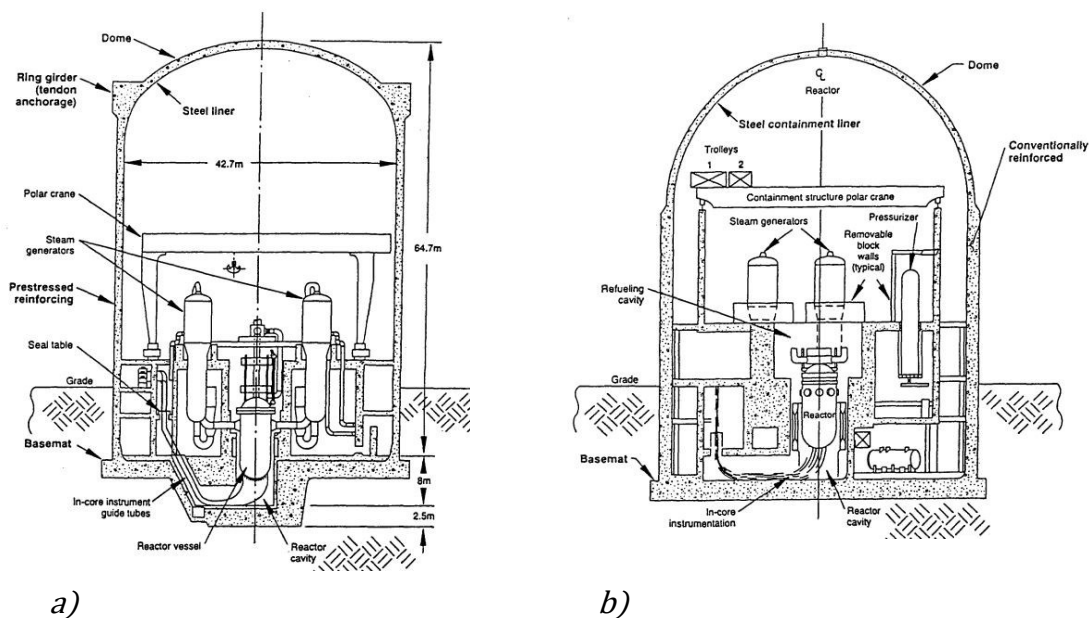
nagy, száraz konténment (FIB (2001) 2.3.1)

megfelelő kapacitással rendelkezik a primer körüli hűtőfolyadék teljes térfogatának és energiájának befogadására, amely LOCA esetén gőz-víz keverék formájában szabadul fel. Ez inherens típusú energiamenedzsmentnek tekinthető.

A szubatmoszférikus konténmentek (8. 5. ábra) esetében a belső térben depressziót hozunk létre.

szubatmoszférikus konténment

melynél a belső nyomást, a térfogatcsökkentés érdekében, kis mértékben a külső atmoszférikus nyomásnál alacsonyabb értékűre is tervezték (≈ 35 kPa).



8.5. ábra: Tipikus PWR konténmentek: a) száraz, és nagy b) szubatmoszférikus konténment szerkezet méretének összehasonlítása (NUREG/CR-6424 (1996))

Csökkentett nyomású konténment

A csökkentett nyomású konténmentek az első, korai típusok közé sorolhatók. Létesítésének fő célja a 24 órás szivárgás csökkentése, a konténment tervezési nyomás és hőmérséklet növelése (FIB (2001) 2.3.1).

A buborékoltató-kondenzátoros konténmentnél (8.9. ábra) a nyomáscsökkentés a lokalizációs toronyban történik, ahol a LOCA vagy főgőzvezeték törése során kilépő gőzt vizet tároló tálcákon buborékoltatják át. A jégkondenzátoros konténmenteknél (8.6. ábra) a gőzt jéggel töltött puttonyokat tartalmazó kamrákba vezetik. A buborékoltató kondenzátorban vagy jégkondenzátorban lecsapódó gőz csökkenti az épület belső nyomását, és csökkenti a konténment légkörének hőmérsékletét.

buborékoltató-kondenzátoros konténment

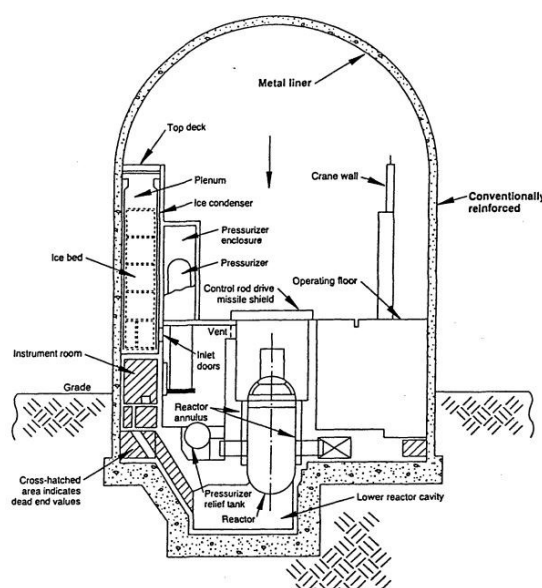
az atomreaktor körül hermetikus helyiségek rendszere létesül és az ahhoz kapcsolódó lokalizációs torony (kondenzációs nyomáscsökkentő) (ilyen

megoldású pl. a VVER-440/213 modell). A lokalizációs toronyban elhelyezett víztöltetű tálcákon átbuborékolgatott gőz kondenzálódik.

jégkondenzátoros konténment (IEAE (2004) 4.82)

melyeknél a LOCA vagy a főgőzvezeték törése során keletkező gőzt jéggel töltött puttonyokat tartalmazó kamrákba irányítják. A jégtömbök hőt vonnak el, amely a gőz lecsapódását okozza.

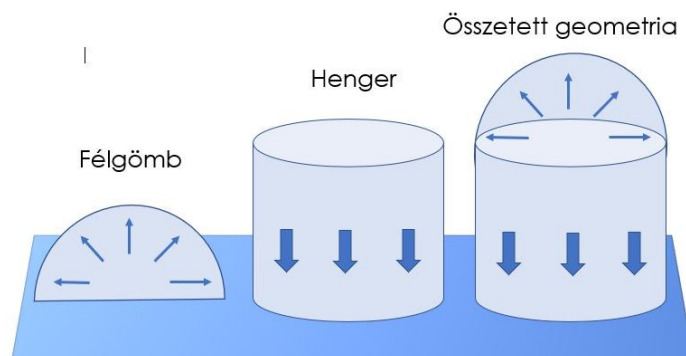
A jégkondenzátor biztonsági rendszernek tekinthető, az ábrán a baloldali fal mellett látható.



8.6. ábra: Jégkondenzátoros konténment (NUREG/CR-6424 (1996))

8.4.2. Alak és erőjáték szerinti változatok

A robbanáshoz hasonló teherlefelvétel kialakuló belső nyomás felvétele meghatározó szerepet tölt be a konténment alakjának meghatározásában (8.7. ábra).



8.7. ábra: Nyugati tervezésű, nyomottvízes reaktor konténment szerkezetek tipikus alakjai ([24] Fig. 16. (b) alapján)

Erőjáték szempontjából a görbült és a kettős görbületű szerkezetek alkalmazása kerül előtérbe. Az ábrán látható, hogy a konténment felső lezárásának geometriája felfelé ható eredő erőt kelt. Ezért szükséges a könnyebb konténment szerkezet lehorgonyozása, vagy nehezebb, pl. beton anyagú konténment alkalmazása. Látható a nagyobb önsúly kedvező hatásából eredő, lefelé ható erőkomponens szerepe.

Atomerőművi konténmentek félgömb, henger, összetett geometriájú kialakítással, továbbá az általánosan alkalmazott derékszögű négyszög alaprajzú ipari épület formájában készülnek.

A korszerű konténmentek leggyakrabban összetett geometriájúak (8.8. ábra).

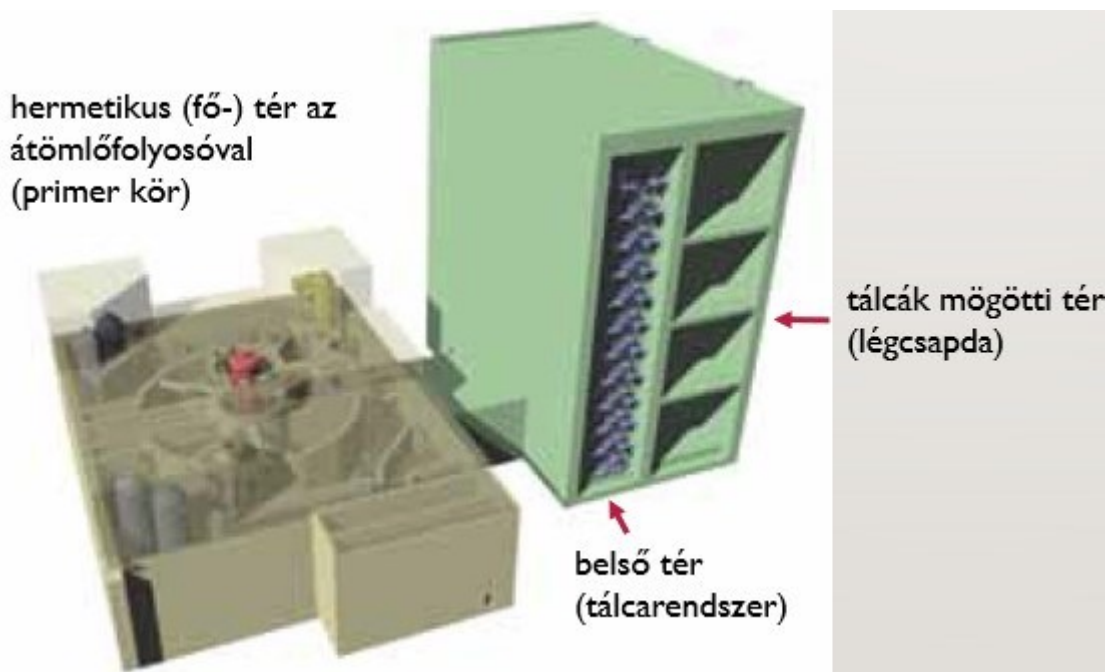
*8.8. ábra: Épülő konténment
(Egyesült Arab Emírségek)*



(<https://english.alarabiya.net/business/energy/2017/09/25/UAE-hosting-major-conference-and-working-with-regional-countries-on-nuclear-power->, részlet)

8.4.3. A Paksi Atomerőmű konténmentje

Az előzőkétől eltérő szerkezetű és rendszerű a hazai atomerőmű konténmentjének kialakítása és működése. A buborékoltató-kondenzátoros konténment rendszer elemeit a 8.9. ábrán láthatjuk.



8.9. ábra: A Paksi Atomerőmű konténmentjének vasbeton dobozszerkezete; a zöld színű rész a lokalizációs torony

A VVER – 440 típus atomerőművi konténment szerkezete

A főberendezések elrendezése a következő:

a függőleges reaktortartályt hat db. fekvő gőzfejlesztő veszi körül, ennek az elrendezésnek megfelelően a primer kör igen nagy méretű.

A nagy nyomást bíró konténment építése rendkívül költséges volna. Helyette egy kisebb nyomást bíró belső hermetikus tér létesült, a nyomás korlátozását konstrukciós megoldásokkal és különböző segédrendszerekkel biztosítják.

A teret három, egymással sorba kapcsolt térrészből alakították ki ([10] 192 p):

- a hermetikus tér, a tálcarendszerhez vezető nagy keresztmetszetű átömlő folyosóval. Ebben a fő térrészben nyertek elhelyezést a primerkörüi rendszerek.
- a lokalizációs toronyban lévő 12 darab tálca fölötti tér
- a tálcák mögötti térrész a légcsapdák helye, amelyekbe visszacsapó szelepeken keresztül jut a tálcákon átáramló, gőzmentes levegő

A belső tér a tálcákkal és a légcsapda a lokalizációs toronyban nyert elhelyezést.

lokalizációs torony

A hermetikus tér passzív elven működő nyomáscsökkentő rendszere, a konténment része. Nagy térfogatú tálcákban vizet tartalmaz, amely a primerkörüi hűtőkör törése esetén a kiáramló gőzt kondenzálja, így megakadályozza a megengedettnél nagyobb nyomás kialakulását.

A lecsapódó gőz hatására a hermetikus térben kismértékű vákuum jön létre, így elérhető, hogy az ellenőrzött kibocsátás csak a szellőző kéményen keresztül történhessen.

A lokalizációs torony működése

A lokalizációs toronyban a hermetikus térben lévő üzemzavar előtti nyomás uralkodik, így, az üzemzavar következtében kiszabaduló, nagyobb nyomású radioaktív gőz, a hermetikus tér levegőjével együtt a kisebb nyomású torony felé áramlik. Itt vízzel teli tálcákon lekondenzálódik, ezzel csökkentve a nyomást. A tálcákon gőzzel együtt átbuborékoló levegő visszacsapó szelepeken keresztül a légcsapdába lép át.

A hermetikus tér nyomáscsökkentésére szolgál az úgynevezett sprinkler rendszer is, amely bóros vizet porlaszt a hermetikus térbe a gőz lekondenzálódása céljából. A bóros víz azért szükséges, mert a reaktorba jutva a bór neutronelnyelő képessége segít elkerülni a láncreakció újraindulását.

A teljesnyomású és a lokalizációs toronnyal ellátott konténment közötti alapvető különbség

- h) a teljesnyomású konténment felveszi a hirtelen keletkező nyomást, ami egy reaktortartály megrepedésekor keletkezne
- i) a teljesnyomású konténment bizonyos mértékig védelmet biztosít a külső hatások ellen, a lokalizációs toronnyal ellátott nem szolgál ilyen célokat

8.5. Konténment szerkezet izoláló és hermetizáló elemei

Izoláló elemek

A konténment nyomáshatároló falának áttörései

- kábel- és csőátvezetések
- berendezés beszállító nyílások
- személyzeti zsilip (8.10. ábra)
- különleges áttörések



8.10. ábra: Személyzeti zsilip

Hermetizáló elemek

A konténment hermetizálásának egyik eszköze az összefüggő és folytonos fém anyagú bélés (hermetikus burkolat) beépítése. A

fém anyagú bélés (hermetikus burkolat)

alkalmazási célja a konténment szivárgásmentességének (gáztömörségének) biztosítása. A nyomáshatároló fal betonszerkezetébe horgonyzott, általában 6 mm vastag acéllemez. Nem minősül szerkezeti elemnek, ezért nem számítható be a keresztmetszet teherbírásába.

Fém anyagú bélés készülhet kizárólag a betonfal helyi mechanikai védelme (nem a hermetikusság biztosítása) céljából. Ebben az esetben a folytonosság, a beépítés céljából adódóan, nem követelmény.

Hermetizálás lehetséges nem fémanyagú bevonatok alkalmazásával is (pl. CANDU erőmű típus).

nem fémanyagú bélések, bevonó anyagok, bevonatok

betonfelület bevonatai

alkalmazási célja a felületek védelme, folyadékok, vagy gázok behatolásának megakadályozása, csökkentése céljából.

Anyag: epoxi vagy poliuretán bázisú bevonatok. Az epoxi bázisú bélések vízzel érintkező betonfelületeknél használatosak és gyakran üvegszállal erősítettek.

A bevonatok alkalmazása nem korlátozódik a hermetizálás megvalósítására:

szénacél felület bevonatai

alkalmazási célja a környezeti hatások mérséklése, korrózióvédelem. Általánosan alkalmazott beltéri bevonat a nem organikus cink primer alapozás záró réteggel és a nem organikus cink primer alapozás módosított fenol vagy epoxi zománc záróréteggel, továbbá a módosított fenol alapozás és záró bevonat.

A konténment lezárásához aktív szerelemek (hermetizáló szerelvények) beépítése, illetve emberi közreműködés (pl. zsilipajtó becsukása) szükséges. Az elemek (nyitott/zárt) állapota fontos és (jellegének megfelelően folyamatosan vagy rendszeresen) ellenőrizendő.

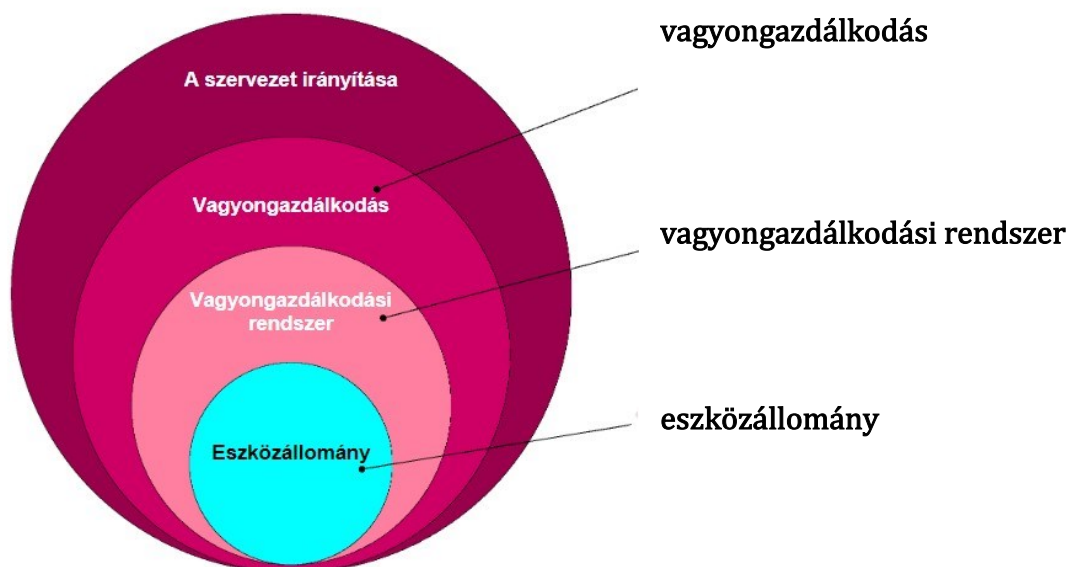
9. Atomerőművi eszközállomány

Az atomerőművi technológia és az atomerőművi építmények tárgyalásával áttekintettük azokat a fizikai eszközöket, amelyek az atomerőmű részét képezik és amelyek biztosítják célnak megfelelő működését.

A vagyongazdálkodási rendszer az általános értelemben vett üzemeltetés egy eleme, mely rendszer ismerete a tervezett építmények és a rájuk vonatkozó követelmények rendszerezésére is alkalmazható.

9.1. Vagyongazdálkodás

Az atomerőművi vagyongazdálkodás rendszere nem speciálisan kifejlesztett atomerőművi rendszer, hanem az általános vagyongazdálkodási rendszer kiegészítésével, apró módosításaival kell számolnunk.



9.1. ábra: A vagyongazdálkodási rendszer (MSZ ISO 55000: 2015, 1. ábra alapján)

vagyongazdálkodás - asset management

- egy szervezet összehangolt tevékenysége annak érdekében, hogy eszközökből értéket teremtsen (MSZ ISO 55000: 2015, 3.3.1.).
- az erőforrás-elosztási és kockázatkezelési döntések meghozatalának folyamata a nukleáris termelési üzletág minden szintjén annak érdekében, hogy az összes érdekelt fél számára maximalizáljuk az értéket/jövedelmezőséget, az erőmű biztonságának megőrzése mellett (NEI AP-940 (2005)).

vagyongazdálkodási rendszer - asset management system

a vagyongazdálkodás irányítási rendszere melynek feladata a vagyongazdálkodási politika és a vagyongazdálkodási célok meghatározása (MSZ ISO 55000: 2015, 3.4.3.).

eszközállomány - asset portfolio

azok az eszközök, amelyek a vagyongazdálkodási rendszer alkalmazási területén belül vannak (MSZ ISO 55000: 2015, 3.2.4.).

9.2. Atomerőmű eszközei

A vagyongazdálkodás alapvetően a gazdasági szemléletnek megfelelő (menedzsment) eljárás alkalmazását jelenti. Rendszere illeszkedik, illeszkednie kell a műszaki igényekhez, tevékenységekhez, ezért is célszerű ismerni a rendszer részleteit. A vagyongazdálkodás összefüggésben van az élettartam gazdálkodással, és a karbantartással.

Meg kell határozni, hogy általában mit tekintünk eszköznek:

eszköz - asset (MSZ ISO 55000: 2015.,3.2.1.)

olyan tétel, dolog vagy egyediség (entitás), amely lehetséges vagy tényleges értéket jelent a szervezet számára.

Megjegyzés: az érték lehet tárgyi vagy eszmei, pénzbeli vagy nem pénzbeli, és magában foglalja a kockázatok és a kötelezettségek figyelembevételét is.

Tárgyalásunk szempontjából alapvető jelentőségű a fizikai eszköz fogalma:

fizikai eszköz

- a) a fizikai eszközök azonosak az erőművet alkotó szerkezetek, rendszerek és rendszerelemek (RRE) összességével (IEAE (2021), 4.4. alapján).
- b) a fizikai eszközök általában a szervezet tulajdonában álló berendezésekre, készletekre és ingatlanokra vonatkoznak (MSZ ISO 55000: 2015, 3.2.1. alapján).

Az atomerőmű fizikai eszközeinek körét a technológiai és az építészeti fejezetben bemutatott, a valóságban létező berendezések és építmények alkotják. A fizikai eszköz fenti definíciójának a) pontja egyértelműsíti az atomerőművi rendszereknek/rendszerelemeknek való megfeleltetést. Ilyen módon a különböző szakterületek által végzett tervezési, megvalósítási és üzemeltetési tevékenységek tárgya azonos modellből származtatható.

9.3. Atomerőmű fizikai eszközei

Az atomerőmű terjedelmes és sokrétű eszközállományát, kezelhetőség szempontjából, célszerű csoportokba foglalni. A valóságban létező elemek elrendezése sok esetben meghatározza és megkönnyíti a csoportosítási lehetőséget. Az is előfordulhat azonban, hogy az egybeépítés ellenére, modellünkben szét kell választanunk az egyes elemeket a különböző szempontok eltérő megítélése (pl. az elemek biztonsági szerepe) következtében.

Fizikai eszközök és vagyontárgyak csoportosításának szempontjai

- funkcionális (technológiai)
- rendszertechnikai
- nukleáris biztonságban játszott szerep
- ABOS biztonsági osztályba sorolás
- általános biztonságban játszott szerep
- működési időszak
- működési jelleg
- karbantartási munkák és a források felhasználása
- érdekelték (jogi) személye

A funkcionális (technológiai) csoportokat a telephelyen, illetve az atomerőművi blokk rendszerén belüli funkciók alapján képezzük.

A rendszertechnikai csoportosítás alapja az atomerőművi műszaki rendszerek szintjeibe (létesítmény, rendszer, rendszerelem) történő besorolás.

A nukleáris biztonságban játszott szerep csoportjainak meghatározása a nukleáris energiatermelés működési biztonsága szerinti besorolásokon alapul.

Az ABOS, atomerőmű biztonsági osztályba sorolás célja a nukleáris biztonsági követelménycsoportok adott eszközhöz (RRE, rendszer, rendszerelem) való hozzárendelése.

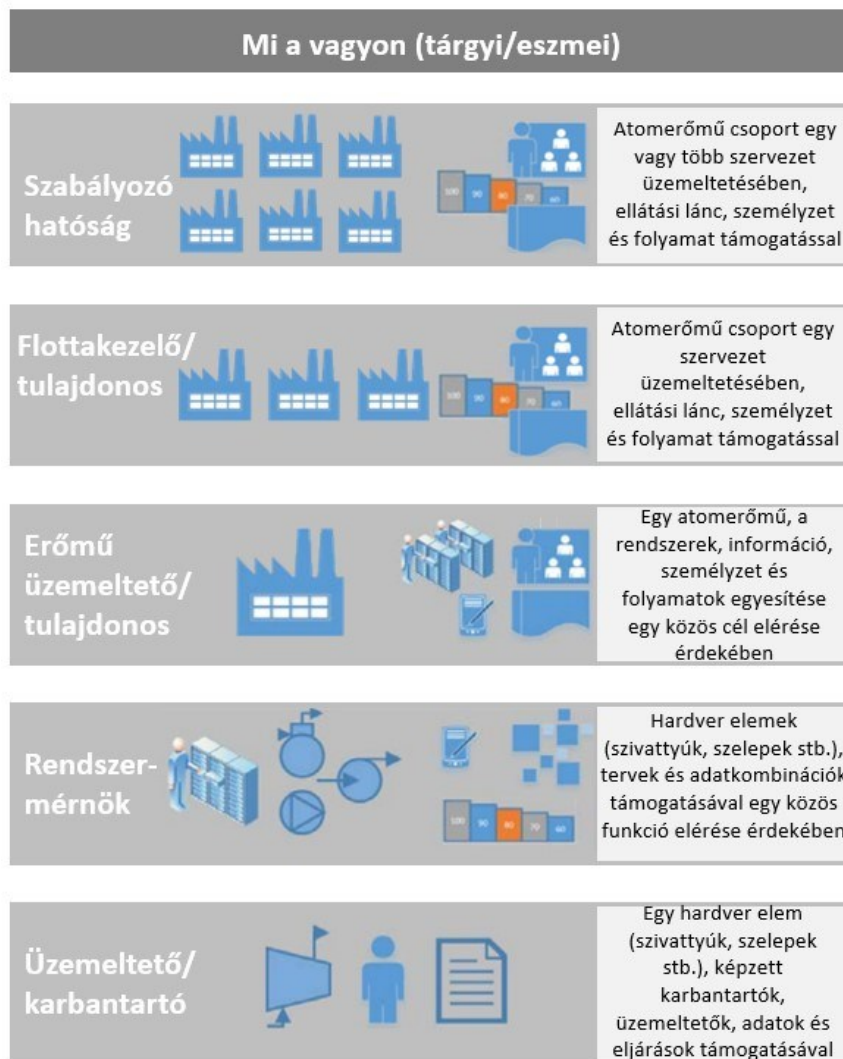
Az általános biztonságban játszott szerep alapú besorolás az általános, ipari biztonsági besorolási kategóriákon alapszik.

Rendszerelemek működési időszak szerinti csoportosítása a folyamatosan működő rendszerelemek elkülönítését szolgálja.

Rendszerelemek működési jelleg szerinti csoportosítása a mozgó alkatrészekkel rendelkező elemek üzemeltetési szempontjának érvényesítése.

Rendszerelemek csoportosítása a karbantartási munkák priorizálása és a források felhasználásának szempontja alapján a cserélhetőséget veszi figyelembe.

Az érdekeltek (jogi) személye meghatározza az általuk figyelembe veendő eszközök körét, a velük kapcsolatos tevékenységeket, illetve felelősségi köröket. A részleteket a következő ábrán mutatjuk.



9.2. ábra: Eszközök kezelése az érintettek portfóliójában (IAEA (2021. Fig. 3.)

Az ábrából kitűnik, hogy a fizikai eszközök összessége és minden szintje részét képezi az atomerőművi eszközállománynak, ilyen módon az elemzési, tervezési, megvalósítási és üzemeltetési tevékenységeknek.

Az egyes eszközcsoportok részletes tartalmát a Függelékben közöljük.

10. A nukleáris energetika ágazat és projektjei

A fejezetben összefoglaljuk azon főbb körülményeket és jellemzőket, melyek meghatározzák a nukleáris energetika, a nukleáris projektek társadalmi, gazdasági, műszaki, biztonsági környezetét, szervezeti tulajdonságait.

10.1.A nukleáris energia alkalmazásának alapelvei

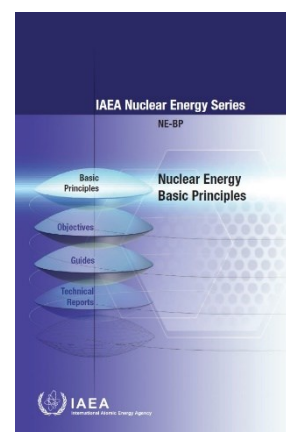
A nukleáris energia békés célú alkalmazásának alapelvei

(IAEA (2008), Atv. 3. § -5/A§).

A nukleáris energia békés célú alkalmazásának alapelvei nemzetközi szinten meghatározottak, a nyolc alapelv pontjai a

- hasznos alkalmazás
- felelős alkalmazás
- fenntartható alkalmazás

feltételeit határozzák meg.



10.1. ábra: A nukleáris energia békés célú alkalmazásának alapelvei (IAEA (2008))

Fenti alapelvek alapján, meghatározható a nukleáris energia felhasználásának alapvető biztonsági célkitűzése, a magas szintű tervezés vezérlő elve:

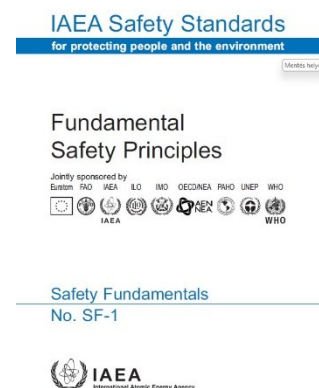
alapvető biztonsági célkitűzés (Atv. 3. § - 5/A §)

az ember és a környezet védelme az ionizáló sugárzás káros hatásaival szemben.

Az alapvető biztonsági célkitűzést anélkül kell elérni, hogy az indokoltnál nagyobb mértékben korlátoznák a kockázatokkal járó létesítmények üzemeltetését, illetve tevékenységek folytatását.

alapvető biztonsági elvek (IAEA (2006B), Atv. 3. § - 5/A §)

az alapvető biztonsági cél elérésére alkalmazott tíz biztonsági alapelv alapul szolgál a biztonsági követelményekhez és intézkedésekhez.



10. 2. ábra: Alapvető biztonsági elvek (IAEA (2006B),

A „biztonság” magában foglalja a

- nukleáris biztonságot,
- sugárbiztonságot,
- radioaktív hulladékkezelés biztonságát,
- radioaktív anyagok szállításának biztonságát;

de nem terjed ki a biztonság nem radiológiai vonatkozásaira.

10.2.A nukleáris energetika jellemzői

A nukleáris energetika leírásánál elsőként kell említeni, hogy az iparág célja a **nukleáris energia békés célú alkalmazása**.

A békés célú felhasználások közül ide tartozik az energiatermelés, az atomerőmű létesítésével és üzemeltetésével kapcsolatos szakmaterületek.

A nukleáris energetika jelentősége alapján stratégiai ágazatnak tekinthető:

stratégiai ágazat

azon gazdasági ágazatok, amelyek létfontosságúak egy ország nemzetbiztonsága, gazdasági stabilitása és általános jóléte szempontjából.

A stratégiai szektorokat a kormány általában szigorúan szabályozza, gyakori az állam gazdasági beavatkozása.

Az iparági tevékenységeknél meghatározó a biztonság elsődlegessége elvének kiemelt figyelembevétele. Az iparág a biztonságkritikus iparágok közé sorolható:

biztonságkritikus iparág

egy olyan, egyénekből, technológiákból és szervezetekből álló rendszer, amelyben a biztonság kiemelt fontosságú, és ahol a meghibásodás lehetséges következménye életveszteség vagy súlyos sérülés, súlyos környezeti kár vagy üzemkárosodás vagy vagyoni kár.

A nukleáris energetika helyzetével kapcsolatban további, biztonságosabb kategóriáról beszélhetünk:

rendkívül biztonságos iparág

ahol a baleseti kockázat kisebb egynél, minden 100 000, vagy akár 1 000 000 biztosítási egységre vonatkozóan.

Az ilyen biztonsági szintet elérő iparágak közé tartozik a **nukleáris ipar**, a menetrend szerinti polgári repülés és a vasutak (Európában)

A biztonság elérésének és megtartásának közös eszköze a

- szigorú és részletes iparági szabályozás
- szabályozási elvek, megoldások egyeztetése, kölcsönös átvétele

Az iparág egyik súlyponti témája a minőség.

minőségi jellemző - quality characteristic (ISO/IEC/IEEE 15288 (2023) 3.35)
egy követelményhez kapcsolódó termék, szolgáltatás, folyamat vagy rendszer inherens jellemzője.

Minden szakmai területre különleges minőségi követelmények vonatkoznak, melyet szokásos a **nukleáris minőség** fogalmával megnevezni. Eredetileg az üzemanyag gyártásnál alkalmazott „nukleáris minőség” megjelölést ma már szélesebb körben, az anyagválasztásra és a munkavégzés követelményeire általánosságban is alkalmazzák.

A további jellemzők közül beszélnünk kell az iparág tudásintenzív sajátosságáról. Az általánosan használt fogalom definíciója nehezen lelhető fel és bizonytalan. Egy (ausztráliai) kutatás meghatározása azonban megadja a besorolás alapjául szolgáló jellemzők körét:

tudásintenzív iparág - knowledge intensive industry
olyan iparág, amelyben

- a munkaerő legalább 25 százaléka diplomás végzettségű
- a munkaerő legalább 30 százalékát szakmai, vezetői, valamint tudományos és műszaki foglalkozásokban alkalmazzák

<https://ecoprofile.infometrics.co.nz/auckland/Home/MetaData#kiindustry>

Az iparág ezen jellemzője kiemeli a tudásmenedzsment jelentőségét és szerepét mind a megvalósítás, mind az üzemeltetés fázisában.

A nukleáris energetika jellemzője a **multikulturális együttműködés**, melynek két értelmezésével találkozhatunk.

- az eltérő szakmai kultúrájú tudományos és mérnöki szakterületek együttműködése a nukleáris projekt előkészítése fázisában, amelyek atomerőműnél az üzemeltetés fázisában is meghatározó jelentőségűek.
- az atomerőmű jellemzően nemzetközi szakértői / kivitelezői közreműködéssel valósul meg, a szakmai / szervezési kultúrák nemzeti jellegzetességeivel is számolnunk kell. A szakmaterületek és nemzeti szakmai kultúrák különbözősége, egyéb tényezőkkel együtt szintén egyik oka a nukleáris energetika nagyfokú komplexitásának.

A bevezetőben mondottak szerint ezen a téren is változott a megközelítés, ma a transzdiszciplináris elv alkalmazását tekintjük korszerűnek. A megközelítés „jósága” a költségek alakulásával könnyen számszerűsíthető.

Más szakterületek mellett, a nukleáris energetika is foglalkozik az ember-gép kapcsolat kérdéseivel. Ez a viszony kiterjeszthető az ember-technológia kapcsolat elemzésére, mely bővítés összhangban van a környezet műszaki bonyolultságával.

Az emberi tényező hatása mellett a szervezet jellemzői is befolyásolják a teljesítményt, ezen keresztül a biztonságot. A kutatási eredmények alapján ([14]) kijelenthető, hogy az

ember-technológia-szervezet hármas

a teljesítmény, így a biztonság szempontjából alapvető jelentőségű. Az ezzel kapcsolatos alapokat külön pontban foglaljuk össze.

10.3.A nukleáris energetikai projekt jellemzői

A nukleáris energetikai projekt szűkebb környezete a nukleáris energetika ágazat, melynek jellemzői a nukleáris energetikai projekt jellemzőire is hatást gyakorolnak, illetve közvetlenül jelentkeznek a projekt lebonyolításában. Jelen alfejezetben ezeket nem részletezzük.

A nukleáris projekt menedzsmentjének általános összefüggéseiről az IEAEA (2023)-ban, IAEA (2020)-ban, IEAE (2011)-ben és IAEA (2002)-ben tájékozódhatunk.

10.3.1. Radioaktív anyagok jelenléte

A projektek elvi megkülönböztető tulajdonsága a radioaktív / nukleáris anyag jelenléte, a gyakorlati esetekben azonban, látni fogjuk, ez nem minden esetben érvényes.

radioaktív anyag (Atv. 2. § 3.)

a természetben előforduló vagy mesterségesen előállított olyan, ionizáló sugárzást kibocsátó anyag, amely olyan radionuklidot tartalmaz, amelynek aktivitása sugárvédelmi szempontból nem elhanyagolható.

nukleáris anyag (Atv. 2. § 4.)

az a radioaktív anyag, amely

- önfenntartó nukleáris láncreakcióra képes vagy képessé tehető, különösen az urán, a tórium, a plutónium, és
- bármilyen anyag, amely az előbbiek közül gazdaságosan kinyerhető koncentrációban tartalmazza bármelyiket, az érc és az érchulladékok kivételével.

Az atomerőmű életciklusának egyes fázisaiban, illetve a nukleáris projekt egyes tevékenységeinél ténylegesen nem kell ezzel számolnunk. Az erőmű építési/szerelési munkái kb. 80%-ban hagyományos jellegű tevékenységek (CECA (2016), [30], [32]). Ennek jelentősége különösen az új erőmű kivitelezési munkái szervezésénél jelentkezik.

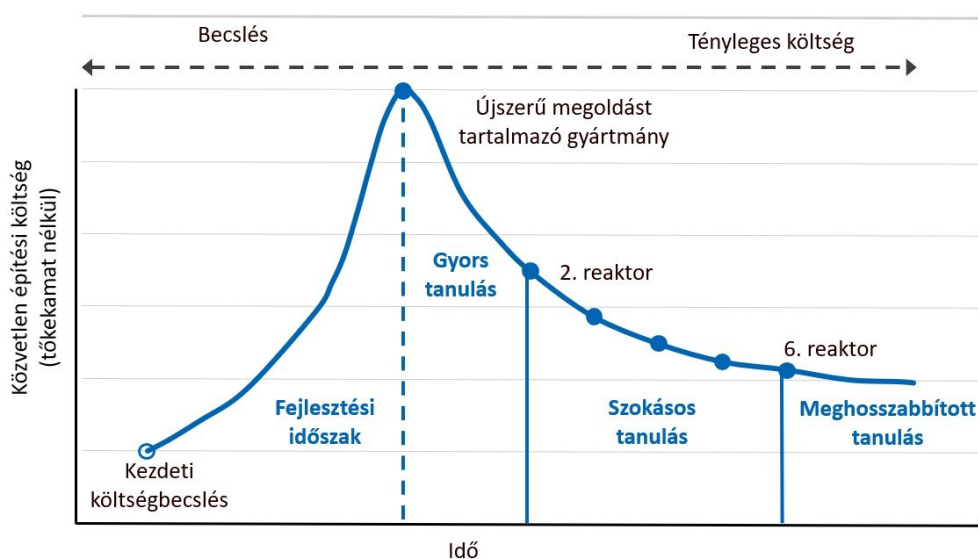
Látható azonban, hogy radioaktív / nukleáris anyag jelenlétére való tekintettel, a nukleáris szakmai terület tevékenységei nagymértékben és részletesen szabályozottak.

10.3.2. Beruházási költségek

Az atomerőművi projektek magas beruházási (tőke) igényűek. A versenyképességet az üzemeltetési költségek alacsony volta biztosíthatja, mely a teljes projekt időtartamára vonatkozó gazdasági elemzések alapja.

10.3.3. Költségek alakulása

A projektekre általában jellemző, hogy indításkor viszonylag kevés adat áll rendelkezésre, a költségeket és a várható átfutási időt ezen kevés adatok alapján becsülik meg. A 10.3 ábrán látható a költségek időbeli alakulása.



10. 3. ábra: Új atomerőmű építés tanulási görbéje. (NEA (2020), Fig. 3.)

A lerajzolt folyamatot tanulási görbének nevezzük.

tanulási görbe – learning curve

a termelékenység változásának grafikus megjelenítése az idő függvényében.

A költségek csökkenéseként (idő/darab) vagy az output növekedéseként (darab/időegység) ábrázolható.

Láthatjuk, hogy a fejlesztési időszak után, ahogyan egyre több és több tényszerű adat áll rendelkezésünkre, nőnek a költségek. A fejlesztési időszakban, a projekt előkészítése, a tervezés során egyre több ismeretet szerzünk a projektről, egyre több dolgot tanulunk meg. Ez vezet oda, hogy a második reaktor projekt indításánál, az első reaktor projekt indítási költségéhez képest jelentős költségcsökkentést tapasztalunk. Ha tehát további reaktorok építésére van lehetőség, akkor ez a tanulási folyamat még hatásosabb.

A tanulás emberekhez köthető, annak ellenére, hogy már léteznek tanuló szoftverek/ tanuló algoritmusok.

A tanulásnak a szervezeti oldalról is van értelmezése, amely lényegében egy magatartás változást jelent. Az új elfogadása/befogadása és alkalmazása tekintetében különbségek vannak a cégek között. A tanulási folyamatot a termelésmenedzsment is definiálja. A tanulás, az általa elért költségcsökkentés révén, a gyakorlat számára is könnyen kezelhető/mérhető.

A tanulási folyamatot befolyásolja a szervezet tervezési érettsége.

tervezési érettség - design maturity

a szervezet tervezési felkészültségének/- képességének mértéke.

A magas tervezési érettséggel rendelkező szervezetekben a folyamatok és a team-ek tervezés-központúak. A tervező teamek saját tapasztalatokkal rendelkeznek, és felelősséget vállalnak a visszajelzések megértéséért és megvalósításáért.

A tervezési érettség mérésére számos modell áll rendelkezésre.

tervezési érettségi keretrendszerek - design maturity frameworks

biztosítják a kulcsfontosságú teljesítménymutatókat és mérföldköveket a szervezetek számára, a tervezési gyakorlat és a felhasználói kutatások hatékonyságának elemzéséhez, a szervezet folyamataiban és termékeikben.

A tanulási görbe tapasztalatai vezetnek a több blokkos telephelyi megoldások hatékonyságához, illetve ahhoz, hogy - akár eltérő telephelyen is megvalósítva - több reaktor egymás utáni megépítésével használjuk ki a reaktorok sorozatos építésének fajlagos költségcsökkentő hatását.

A politikai irányítás lényegesen befolyásolja a felmerülő költségeket. A több blokkos modell, esetleg a sorozat építése mellett a szabályozási és finanszírozási környezet kialakítása lényeges befolyással bír.

10.3.4. **Ember – technológia - szervezet**

Jelentőségének megfelelően foglalkoznunk kell az egyén, a szervezet szerepének, a szervezetek működésének jellegzetességeivel, ezek biztonsági vonatkozásaival.

A nukleáris biztonság területeit, a projekt életciklusa folyamán betöltött változó összetételét a tervezés fejezete tartalmazza.

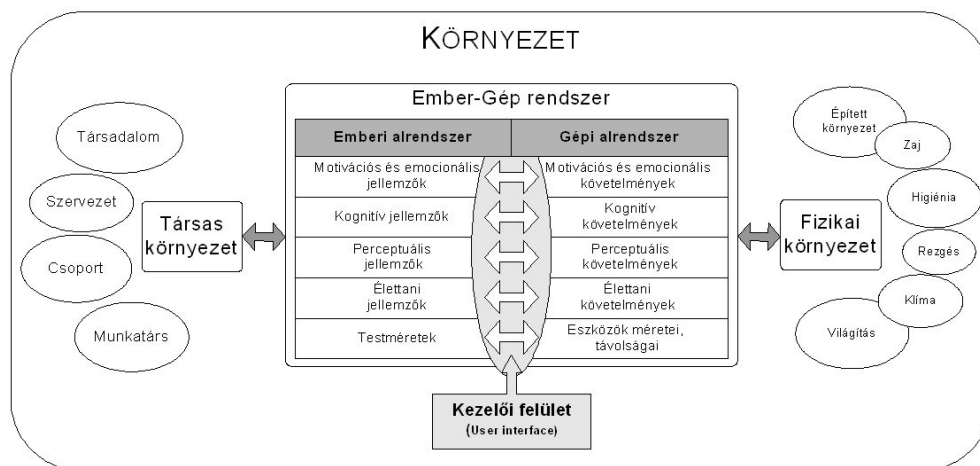
A reaktortípusok tervezése a biztonság megvalósításának egyik fontos területe, ami a tervezési biztonság körébe tartozik. A fejezetben tárgyalt szervezeti kérdések, a szervezeti kultúrák, az üzemeltetési biztonság meghatározói.

Ember – gép - környezet

Berendezések kezelésének tervezésénél az ember-gép kapcsolat kialakításának biztonsági vonatkozásai is vannak. Fokozottan érvényes ez az atomerőművi komplex rendszerek irányítása/kezelése tervezésénél.

Az emberi tényező szakterület, a tervezési folyamaton kívül, az operátor kiválasztás/képzés során kap kitüntetett szerepet.

Az ember-gép kapcsolat elemzése a rendszerek ergonomikus kialakítása és az üzemeltetés vonatkozásában fontos. A feladat komplexitását a tervezési tér 10.4. ábrájával mutatjuk be.



10.4. ábra: Az ember-gép-környezet elemei ([105]).

A szervezet

Mindenekelőtt meg kell határozni a szervezet fogalmát:

szervezet

legtágabb értelmezésben - bármely, emberek közös tevékenységei révén kialakult társadalmi formáció. Több ember együttműködésére, szervezet létrejöttére akkor van szükség, ha a kitűzött cél megvalósítása, vagy a feladat elvégzése meghaladja az egyén lehetőségeit, kapacitását.

A szervezeti élet kérdéseivel több diszciplína is foglalkozik. Bár nincs teljes egyetértés abban, hogy mely diszciplínának mi a pontos tartalma, a főbb elhatárolások a szervezeti viselkedés témakör helyének meghatározására a következőképpen mutathatók be.

A szervezeti élet kérdéseivel foglalkozó diszciplínák

Elméleti orientációjú

szervezeti viselkedés
menedzsment szervezetelmélet

Gyakorlati orientációjú

humán erőforrás
szervezetfejlesztés

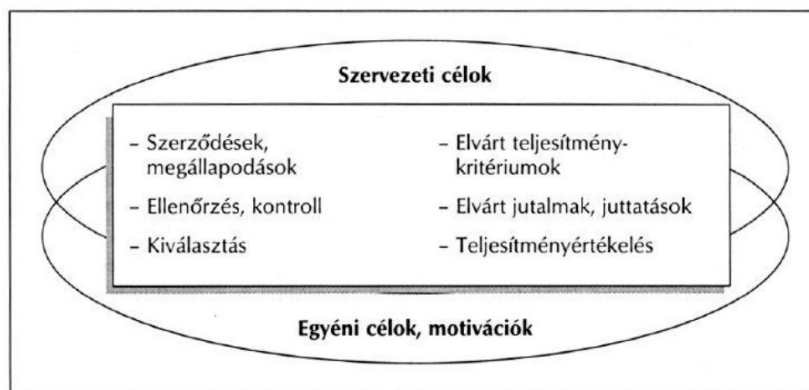
A fenti felsorolásból, témánknak megfelelően, a szervezeti viselkedés ismerete fontos számunkra.

szervezeti viselkedés

a munkavégzés során tapasztalható viselkedést vizsgálja, elsősorban magatartástudományi eszközökkel. Vizsgálódásának fő területei:

- individuális
- interperszonális
- csoport jelenségek, valamint a szervezeti viselkedést befolyásoló
- szervezeti és környezeti hatóerők

A szervezeti viselkedés tanulmányozása segíti a szervezetben élőket (elsősorban a vezetőket) azon tényezők és folyamatok megértésében, amelyek befolyásolják munkahelyi életüket, teljesítményüket, a munkával való elégedettségüket. Az egyéni és szervezeti célok viszonyát a 1.5. ábrán mutatjuk be.



10.5. ábra: Szervezeti és egyéni célok összekapcsolódása ([2])

A szervezet viselkedésének megértéséhez röviden szükséges kitérnünk a szervezet működési környezetére, a szervezet életét meghatározó konfliktusforrásokra. Azért is érdemes erről említést tenni, mert ezek irányítják a szervezet napi működését és bizony, ha odafigyelünk nap mint nap találkozunk ezekkel a kérdésekkel.

Szervezeti kihívások

Gazdasági versenyképességgel kapcsolatos kihívások

- globalizáció
- információs technológia fejlődése
- új minőségi követelmények

Nukleáris terület biztonsággal kapcsolatos kihívásai

- minőség
- projektfázisok elsődleges, másodlagos és generikus kihívásai

A gazdasági versenyképességgel kapcsolatos kihívások alatt felsorolt főbb tényezők nem ismeretlenek számunkra, hiszen egyik-másikkal, pl. az információtechnológia fejlődésével nap mint nap találkozunk, tapasztaljuk hatásukat.

A nukleáris terület nagy kihívása/problémája a nukleáris minőség biztosítása és azon kihívások, melyeket a projektfázisok elsődleges, másodlagos és generikus kihívásai jelentenek (utóbbiakról bővebben ld. a Függelék eseményekkel kapcsolatos pontját).

Az ezeknek való megfelelés és maguk a kihívások számtalan konfliktusok forrásai lehetnek, aktuálisan ezek között a legnagyobb problémát a biztonság igénye és a gazdasági célok közötti eltérések jelenthetnek.

A szervezet irányításában konfliktust okozhat a centralizáció és a decentralizált döntési eljárásokról való döntés, annak meghatározása, hogy mely kérdésekről milyen szinten kell dönteni. Ez sem tartozik az egyszerű feladatok közé és akkor nem is szólunk a rövidtávú és a távlati célok között fellépő esetleges eltérések kérdéséről.

A részben ellentmondó igények egyensúlya az egyik legfontosabb kihívás a biztonság szempontjából kritikus szervezetek számára, ezért ez alapvető kérdés.

Összefoglalva tehát a

konfliktusforrások

- biztonsági és a gazdasági célok közötti eltérések
- centralizáció és a decentralizáció ellentmondása (az irányítási rendszerben)
- akut (hirtelen fellépő, sürgős) és krónikus (tartós) célok és problémák közötti eltérés

Szervezeti kultúra

A szervezeti kultúra csak hosszabb ideig fennálló szervezetekben jöhet létre, magatartás alapú jelenség, tanulási folyamat eredménye. A szervezet tagjai szocializáció révén sajátítják el. Létrejöttében és változásaiban számos tényező játszik közre.

szervezeti kultúra egy

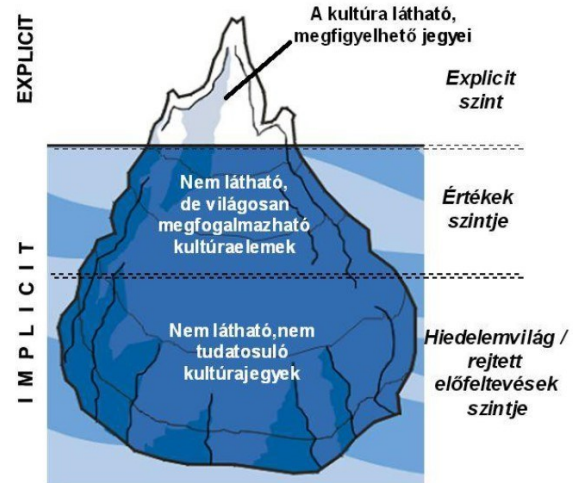
- filozófia
- normarendszer

amely alátámasztja a

- szervezet politikáját
- szervezeten belüli szabályokat
- munkahelyi klímát
- hatással bír a fizikai elrendezésre

A kultúra a szervezet „puha” tényezője. Hiedelmekre, közös értékekre, elfogadott magatartási szabályokra épül (Schein in [16] p.: 57).

A szervezeti kultúra megragadása nagyon nehéz, ahogyan a 10.6. ábrán látható. A jéghegy modell érzékelteti, hogy amit mi látunk az csak egy kis része, mintegy 10 százaléka a lényegi dolgoknak.



10.6. ábra: A szervezeti kultúra szintjei ([2])

A kutatások azt igazolják, hogy a szervezeti kultúra (ellentétben a szervezeti struktúrával) alakítólag hathat a szervezet stratégiájára. A stratégia kialakítása során a kultúra hatására dolgoznak ki stratégiai válaszokat a környezet kihívásaira. A környezet reakciója visszahat a vállalati kultúrára. A kultúra tehát a vállalat és a környezet közötti közvetítőként is működik.

Atomerőművi kultúrák

Az atomerőmű szervezetében az irányítással kapcsolatban három kultúrát is meg kell említenünk.

biztonsági kultúra - safety culture

a) a szervezetekben, valamint az egyéneknél meglévő azon jellemző vonások és viselkedésmódok összessége, amely a biztonsággal kapcsolatos kérdések mindenek feletti elsőbbségét és jelentőségüknek megfelelő kezelését biztosítja (NBSZ 10.28.).

b) a szervezeti kultúra elválaszthatatlan része, az egyének és a csoportok biztonsággal kapcsolatos viszonya, amely a technológia és a környezet kölcsönhatásaként alakul, változik.

A szóösszetételben a biztonság az alacsony kockázatot, az üzemzavaroktól mentes körülményeket jelenti, míg a kultúra jellemzően a szervezeti kultúrára utal.

A biztonsági kultúra a szervezet kultúrájának azon aspektusaként értelmezhető, amelyek meghatározzák, hogyan tekintik és kezelik a biztonságot. A biztonsági kultúra és más atomerőművi (őrzésvédelmi) kultúra összefüggéseit, a szervezeti viselkedést, ezen belül a szervezeti kultúra meghatározó jellemzőinek ismeretében tudjuk megérteni és befolyásolni.

őrzésvédelmi kultúra - nuclear security culture

a nukleáris védetség támogatását és fejlesztését szolgáló személyek,

szervezetek és intézmények jellemzőinek, alapelveinek, hozzáállásának és viselkedésének összessége (FV-6.2.)

Ez az értelmezés a „nuclear security culture” tágabb értelmezése, amely nem korlátozódik a fizikai védelem kérdéseire (FV-6.3.1), ezt ezen kultúra részeként kezeli.

minőségi kultúra (3a.2.1.0100.)

az engedélyesnek a tervezés összetett folyamatát szabályozó irányítási rendszert kell működtetnie, amely biztosítja a tervek minőségét, összhangját és a nukleáris biztonsági követelmények teljesítését.

A biztonsági kultúra fogalma, amely a felsoroltak közül a legfontosabb, 1988-ban, a csernobili baleset után került definiálásra.

Az őrzésvédelmi kultúra megvalósítása közvetlen hatással van az atomerőművi dolgozók napi életére, amellet a tervezés során számos követelményét figyelembe kell venni.

Ugyanez elmondható a minőségi kultúra jelentőségével kapcsolatban is.

10.4.A nukleáris energetika fogalmi rendszere

Az atomerőművi rendszereket és létesítményeket bonyolult műszaki megoldások jellemzik, amely bonyolultságot a létrehozásban és üzemeltetésben közreműködőknek is kezelniük kell. A több szakterületet átfogó projektek kommunikációja alkalmazza a mérnöki szakmák és számos tudományterület széles körének fogalmi rendszerét, melynek megértése a kapcsolódó szakmaterületek képviselőinek alapvető érdeke.

A nukleáris szakterület egységes fogalom- és szóhasználata, más szakterületekhez hasonlóan, fontos része a szakmai kultúrának.

Nemzetközileg az angol tekinthető a nukleáris szakterület nyelvének, amely szakmai fogalom és szóhasználati szokásaival kapcsolatos főbb tapasztalatok az alábbiak:

- a közreműködő szakterületek/tudományágak egy szóalakhoz/kifejezéshez eltérő jelentést/értelmezést kapcsolnak (pl. a nukleáris biztonság és a sugárvédelem, a radioaktív anyagok szállítása szakterületek egyes eltérő értelmezései)
- egyes jelentést/értelmezést eltérő szóalakhoz kapcsolnak, különböző szakterületek hasonló jelentést/értelmezést eltérő alakú szóval jelölnek
- egyes fogalmakat új, „korszerű” jelentéstartalommal ruháztak fel (pl. engineering).
- más fogalmakat az ezeket széles körben használó szakterületek általánosabb tartalommal értelmeznek (pl. a folyamat fogalmának rendszertехnikai tartalma)
- a transzdiszciplináris megközelítés szemlélete egyes fogalmak jelentésének átértelmezését, több szakterület értelmezésének általánosítását tartalmazza (a rendszertехnikai fogalmak általában jó példák erre)

- a fogalmak egy részének, széleskörű használatuk ellenére, nukleáris területen nincs fellelhető definíciója (pl. biztonságkritikus iparág). Ez esetenként a témák kifejtésének pontosságát/ kiterjedését hátrányosan befolyásolja. A hiány pótlására más területek fogalmi értelmezése alkalmazható, amely időnként (hazai környezetben) félreértést von maga után.

Az eltérő jelentéseket a NAÜ (Nemzetközi Atomenergia Ügynökség) értelmező szótárai (ld. alább) rögzítik. A rendezésre egy példa az Amerikai Nukleáris Társaság fogalomgyűjteménye (ANS (2019)), melyben összegyűjtötték a különböző értelmezéseket, majd meghatározták a preferált változatot. A rendszertехnikai fogalmak áttekintését megkönnyíti, hogy ezek többsége a vonatkozó szabványokban fellelhető (ld. Irodalomjegyzék).

A hazai fogalomhasználat nehezítő körülményei

- egyes fogalmak tág jelentéstartalma megnehezíti, a gyakorlatban ellehetetleníti a magyar ekvivalens meghatározását. Ezért a fogalomhasználat gyakran az eredeti szóalak magyarosított változatát alkalmazza (nonproliferáció)
- azonos angol szóalakok eltérő magyar fordítással használatosak
- a hazai jelentéstartalmak néha eltérnek a mintának tekintett angol nyelvterületi használatától. Szerző véleménye szerint az eltérő jelentéstartalom használata nem helyeselhető irány, elterjedése megakadályozhatja a közvetítőeszköznek tekinthető nyelvi formák megértését.
Különös óvatossággal kell kezelni a technológia tulajdonos, illetve nagyobb erőműparkkal rendelkező országok fogalomhasználatának átvételét. A mögöttes gazdasági háttér súlya ilyenkor háttérbe szoríthat racionális egyszerűsítési/módosítási törekvéseket is.
- a hazai fogalomhasználatot a hagyományos műszaki fogalmak (általában német, nukleáris területen orosz eredetű) átvétele, illetve ennek újabb kori (angol eredetű) megváltozása befolyásolja ([3], [29]),

A nukleáris szakterület fogalmi rendszere alapjának a NAÜ szótárai tekinthetők (10.7. ábra). Ezek tartalmazzák a nemzetközi egyeztetések során kialakult fogalmakat és ezek értelmezését/jelentését. NAÜ meghatározó kiadványai általában a NAÜ több hivatalos nyelvén hozzáférhetők, hazánkban az angol nyelvű értelmező szótárakat használják.

A szótárak tagozódása követi a szakmaterületi tagozódást, tartalmuk ennek megfelelően:

- biztonság, sugárvédelem
- (fizikai) védelem
- biztosítékok
- radioaktív hulladék



10. 7. ábra: A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) és NRC (Nuclear Regulatory Commission, USA) értelmező szótárai (IAEA (2019), IAEA (2015), IAEA (2007), IAEA (2003), NUREG (2017))

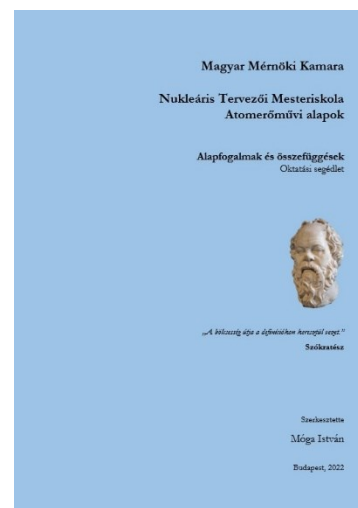
A használatos fogalmakat a hazai háromnyelvű „Atomerőmű” című szótár tartalmazza (10.8. ábra). Ebben a szótárban gyűjtöttük össze a nukleáris projektvezetői munka végzése során előforduló szakkifejezéseket. A nukleáris fogalmakon kívül feldolgoztuk a vonatkozó általános ipari szókinccset, a projektvezetéshez (a szerződéskötéshez) szükséges gazdasági és jogi kifejezéseket.

Szakmai tartalom szerinti csoportok ([29])

- általános
- általános ipari
- hagyományos erőművi
- atomerőművi rendszerek (külön kiemelve a biztonsági rendszereket) és építmények
 - atomerőművi alkalmazásnak megfelelő szakmai részletek megnevezése az első három csoport rendszereiben



Az egyes fogalmak értelmezését a Nukleáris Tervezői Mesteriskola egy segédlete tartalmazza ([26]).



10.8. ábra: Atomerőművi szótár és értelmező szótár

11. A nukleáris projekt modelljei

Az atomerőművi rendszerek és az elemzési/ tervezési folyamatok modellezésére rendszertехnikai eszközök előnyösen alkalmazhatók. A modellezés előnyei teljes mértékben akkor használhatók ki, ha az általános rendszertехnikai elvek és eszközök adaptálása megtörténik az adott alkalmazási körre. Ilyen tevékenységre számos példa áll rendelkezésünkre (pl. DoD (2020), NASA (2016)).

Az útmutató terjedelmét ennek a témának részletes megtárgyalása meghaladja, ezért az általános szinten maradunk.

Általános jellegű információkat nyerhetünk a kézikönyvekből, illetve összefoglalásokból (SEH (2015) System engineering handbook, SEBOK (2023), SEBOK (2023B)) System Engineering Body of Knowledge. A rendszertехnika jövőbeni lehetőségei bemutatásáról is olvashatunk a témával foglalkozó intézmények anyagában (INCOSE (2023) International Council on Systems Engineering).

11.1. Rendszerek rendszere

Az atomerőmű megvalósítási folyamata, az eszközállomány üzemeltetési folyamata rendszertехnikai eszközökkel modellezhető. Ezen folyamatok működési jellemzői, a rendszer viselkedés, a rendszerek rendszere modell alkalmazásával követhető.

rendszerek rendszere – SoS, system of systems (ISO/IEC/IEEE 2139.)
egyesített vagy együttműködő rendszerek csoportja, melyek olyan egyedi képességet biztosítanak, amelyet a rendszerek egyike sem képes egyedül megvalósítani.

Megjegyzés: Minden egyes rendszer önmagában használatos rendszer, amely saját menedzsmenttel, célokkal és erőforrásokkal rendelkezik, de a SoS egyedi képességét SoS-en belül koordinálják.

11.2. Életciklus modell

A megvalósítás és üzemeltetés tevékenységei a projekt életciklus szakaszai szerint szerveződnek. A fogalommal kapcsolatos definíciók:

nukleáris létesítmény életciklusa (NBSZ 10.136.)
a telephely vizsgálatára és értékelésére, valamint jellemzőinek és alkalmasságának megállapítására vonatkozó, továbbá a létesítési, üzembe helyezési, üzemeltetési, végleges üzemben kívül helyezési és leszerelési időszakok együttese.

életciklus - life cycle (ISO/IEC/IEEE 15288 (2023) 3.21)
rendszer, termék, szolgáltatás, projekt vagy más, ember alkotta entitás alakulása az elgondolástól a kivonásig.

életciklus modell - life cycle model (ISO/IEC/IEEE 15288 (2023) 3.22)
az életciklussal kapcsolatos folyamatok és tevékenységek kerete, amelyek szakaszokba szervezhetők, közös referenciaként szolgálva a kommunikáció és a megértés számára

A rendszer életciklus-modelljének meghatározásakor az alapvető döntés az életciklus szakaszok típusának megválasztása (VTT (2016) 2.4), melyek az

- időablakok, a rendszer élettartamán belül
- tevékenységek célirányos kategóriái (pl. koncepcióalkotás, fejlesztés, gyártás, használat, kivonás)

közül választhatók. Az előbbi típus NEM teszi lehetővé az életciklus szakaszok közötti iterációkat, mert az idő múlásához kötődik, míg az utóbbi igen.

Az elterjedt és számos szempontból előnyösebb „életciklus szakasz” a következők szerint értelmezhető:

életciklus szakasz - life cycle stage (VTT (2016) 2.4)
időablak az érdekelt rendszer életciklusán belül. Egy életciklus-szakasznak egy kezdő és egy befejező mérföldköve van. Egy életciklus szakasz kizárólag a hozzárendelt időablakot foglalja el.

Megjegyzés:

Következmény, hogy két vagy több életciklus szakasz nem fedheti át egymást. Ebben az értelemben az életciklus szakasz fogalma eltér az ISO/IEC/IEEE 15288 meghatározásától.

Az életciklus szakaszai nem iterálhatók (azaz nem lehet visszamenni az időben).

Az atomerőművi gyakorlattal összhangban, az időablak típusú életciklus szakaszok megválasztása, a 11. táblázatban bemutatott módon javasolt.

11.1. táblázat: Atomerőmű projekt időablak alapú életciklus modellje

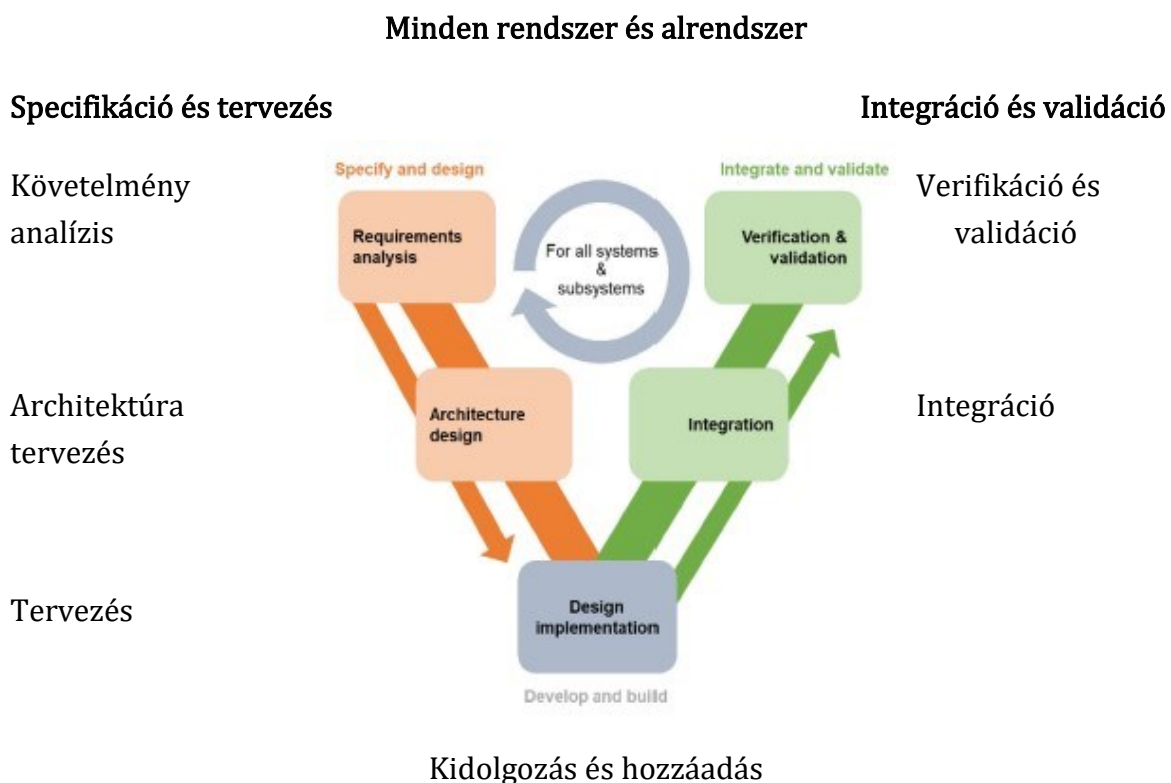
Előkészítés		Megvalósítás			Üzemeltetés		Kivonás	
Projekt előkészítés	Koncepció tervezés	Műszaki tervezés	Kiviteli tervezés	Építés/szerelés	Üzembehelyezés	Üzemelés	Védett megőrzés	Bontás, ártalmatlanítás

Az iterációkéesség hiánya az életciklus szakaszokon átívelő esetek értelmezésével kezelhető. A gyakorlatban előforduló esetekben:

- ha a rendszer nem a várt módon működik, és elkezdődik az áttervezés, ez azt jelenti, hogy egy nem tervezett életciklus szakaszt illesztettek be.
- ha az áttervezés rövid működési szakasz utáni időszakra vonatkozik, a (próba)üzemi szakasz utánra, e különleges áttervezési szakaszt is egy életciklus szakasznak kell tekinteni.
- ha a működés az áttervezés alatt is folytatódik, a működési szakasz a fejlesztési szakasz folyamatait használja.

A részletek kimunkálásában segítséget jelent a rendszertechnika „V” modelljének alkalmazása (11.1. ábra):

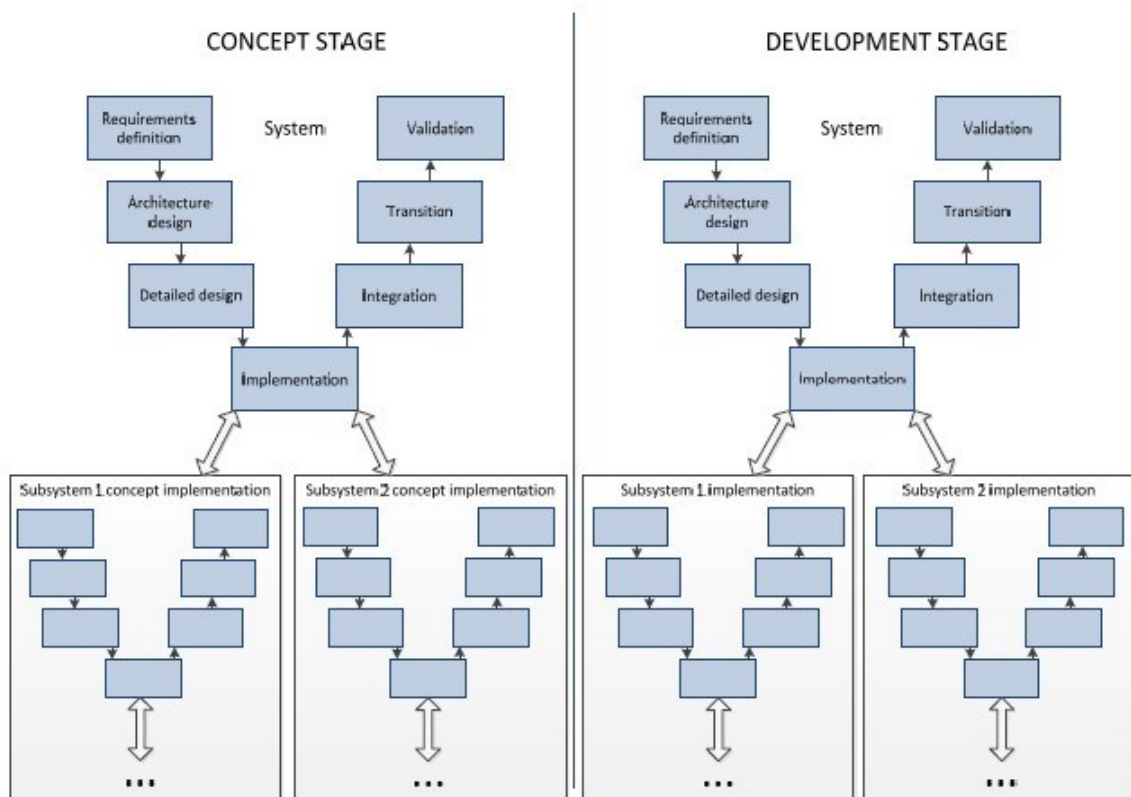
„V” vagy „Vee” modell (Wikipedia, INCOSE (2006) 3.3)
rendszertechnikai tevékenységek grafikus ábrázolása. A modell bal oldala a követelmények lebontásának és a rendszerspecifikációk létrehozásának folyamatát mutatja. A jobb oldal a részek integrációját és azok validációját jeleníti meg.
A modellben az idő és a rendszer érettsége balról jobbra nő.



11.1. ábra: Rendszertechnikai „V” modell (NEA (2020) Fig. 30. részlet).

A választott rendszer, a folyamatok strukturálásával alkalmas a tevékenységek sorrendjének és a rendszertechnikai folyamatok iterációjának meghatározására. A főfolyamatok alatt részfolyamatok definiálhatók.

Az összetett folyamatok és tevékenységek modellezésére az ún. háromdimenziós nézet alkalmazható, melyet a 11.2. ábrán mutatunk be.



11.2. ábra: A rendszermérnöki tevékenység háromdimenziós nézete (VTT (2016) Fig. 4.)

11.3.Életciklus folyamatok

A projektmenedzser és a rendszermérnök egyaránt foglalkozik olyan menedzsment kérdésekkel, mint a tervezés, mérés és ellenőrzés, vezetés, irányítás, valamint kockázatmenedzsment (VTT (2016)). A rendszertechnika a folyamatok szabványosításával segíti ennek megoldását.

A sokrétű feladatok egyeztetése, megértése érdekében, a rendszertechnika területén a korábbiaknál általánosabb fogalmi definíciókat határoztak meg.

folyamat – process

- egymással összefüggő vagy kölcsönhatásban álló tevékenységek csoportja, amely az inputokat outputokká alakítja (ISO/IEC/IEEE 15288. 3.27)
- egy adott cél elérése érdekében végzett tevékenységek vagy lépések sorozata. Végrehajtójuk emberek vagy gépek, akik és amelyek a bemeneteket kimenetekké alakítják. (SEBOK (2023)).

A definícióhoz kiegészítésképpen:

folyamat kimenetel - process outcome (ISO/IEC/IEEE 15288. 3.30)
a folyamatcél sikeres elérésének megfigyelhető eredménye, következménye

A folyamatok két összetevője:

tevékenység – activity (ISO/IEC/IEEE 15288. 3.3)
egy folyamat összefüggő feladatai.

feladat – task (ISO/IEC/IEEE 15288. 3.51)
előírt, ajánlott vagy megengedett cselekmény, amelynek célja, a folyamat egy vagy több kimenetele eléréséhez való hozzájárulás.

A rendszertехnikai tevékenységek végrehajtásához szükséges folyamatok a rendszer életciklusának bármely szakaszában felhasználhatók/végrehajthatók (ISO/IEC/IEEE 15288).

12. Események és következmények

Az atomerőmű működésének meghatározója az üzemelés során várható események sorozata.

esemény

- a) minden olyan beavatkozás, történés vagy ezek hiánya, amely következményeként eltérés mutatkozik az elvárt, tervezett állapottól, és hatással van vagy lehet a nukleáris létesítmény üzemére, biztonságára (NBSZ 10. 55.).
- b) olyan eset, amelyet az operator nem szándékozott megtenni, tartalmazza az üzemeltetési hibát, a berendezés meghibásodását vagy egyéb balesetet, valamint mások szándékos cselekedetét, amelynek következményei vagy lehetséges következményei nem elhanyagolhatók a védelem és a biztonság szempontjából (IAEA (2007)).

Az események szerepét, jelentőségét várható következményeik alapján tudjuk megítélni.

következmény (IAEA (2019))

az esemény hatása vagy végső eredménye. A következményeket a lakosság biztonságára gyakorolt hatás, a környezetre gyakorolt hatás és az üzem költségeinek vagy károsodásának megadásával lehet mérni.

12.1. Események okai

Az atomerőmű működése elemzése, tervezése során ismernünk kell a várható események lehetséges kiváltó okait. Ezek csoportjai az

alapvető ok (NBSZ 10. 56a.)

az esemény okai közül az az ok, amelyet kijavítva vagy megszüntetve az adott és hasonló események ismételt bekövetkezése megelőzhető.

hozzájáruló ok (NBSZ 10. 56b.)

az az ok, amely hozzájárul az esemény létrejöttéhez, de egymaga nem tudná szükségszerűen létrehozni, vagy eredményezni az eseményt.

közvetlen vagy kiváltó ok (NBSZ 10. 56c.)

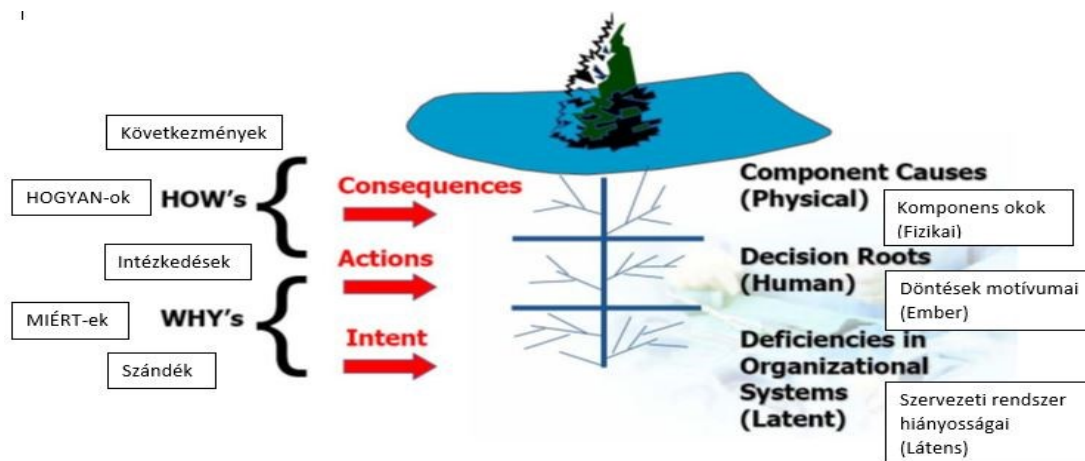
az az ok vagy körülmény, amely közvetlenül idézi elő a várt és az adott tevékenység vagy helyzet közötti eltérést, vagy amely közvetlenül eredményezte az eseményt.

Az okok megállapítása

Az alap-ok-elemzés módszere (RCA, Root cause analysis) és céljai ([42]):

- a nem kívánt kimenetel kiváltó okainak és ok-okozati tényezőinek azonosítása, elemzése, kiküszöbölése vagy enyhítése
- a kockázatok vagy a folyamat gyenge pontjainak, mögöttes vagy rendszerszintű okainak és a korrekciós intézkedések azonosítása

Az RCA lehetővé teszi, hogy megértsük, felismerjük és megvitassuk azokat a háttér hiedelmeket és a gyakorlatokat, amelyek gyenge minőséget / biztonságot eredményeznek egy szervezetben (lásd 12.1. ábra). Az RCA által a szervezeteknél és a szervezetek között megosztott információk segíthetnek megakadályozni a jövőbeni kedvezőtlen eseményeket.



12.1 ábra: Egy eseményt meghatározó ok-rendszer
([42] Fig. 5.2.)

12.2. Események és eseményhalmazok meghatározása

Az eseménykombinációk és eseményhalmazok körét, összetételét az elemzési/tervezési cél/fázis határozza meg.

Az események és eseményhalmazok meghatározása az elemzések során történik, melynek egyik típusa a

valószínűségi biztonsági elemzés – PSA, probability-based safety analysis (NBSZ 10.192)

Átfogó és strukturált elemzési eljárás a lehetséges meghibásodási eseményláncok azonosítására, amely a megfelelő fogalmi és matematikai eszközrendszer alkalmazásával lehetővé teszi a kockázat vagy valamely meghatározott következmény bekövetkezési valószínűségének számszerű becslését.

A nukleáris iparban az

- 1. szintű valószínűségi biztonsági elemzés olyan elemzést jelent, ahol a vizsgált következmény a reaktorzóna sérülése; a
- 2. szintű valószínűségi biztonsági elemzés olyan elemzés, ahol a vizsgált következmény a lakosságot és a környezetet veszélyeztető mértékű radioaktív kibocsátás.

A tervezés során a PSA eredményeit figyelembe veszik az eseménykombinációk meghatározásához, ahol az egyes kezdeti események minden reális kombinációjával számolnak – ideértve a külső és belső eseményeket – amelyek a tervezési alap 3-4 (TA3-4) üzemállapokra (ld. később) vezethetnek.

A tervezési alap kiterjesztéséhez (TAK) sorolt-üzemállapotokat eredményező kezdeti eseményeket és eseménykombinációkat valószínűségi módszerekkel és mérnöki megfontolásokkal kiegészített determinisztikus elemzésekkel választják ki. (N3a.11.3.1.).

Az atomerőmű biztonsága elemzésének másik eljárása a

determinisztikus biztonsági elemzés – DSA, deterministic safety analysis (NBSZ 10.40.)

mérnöki megfontolásokat vagy fizikai modelleken alapuló számításokat tartalmazó biztonsági elemzés, amely előre rögzített kezdeti és peremfeltételeken alapul.

A lehetséges események sorba vétele során lehetőség van egyes események kizárására a következő megfontolás alapján:

gyakorlatilag kizárható (N3a.12. 2.1)

olyan esemény, vagy esemenylánc, amelyről bebizonyítható, hogy megvalósulása vagy fizikailag lehetetlen, vagy PSA-val kiértékelhető gyakorisága 95% konfidenciaszint mellett kisebb, mint 10^{-7} /év.

Ugyanakkor fontos a burkoló elv alkalmazása:

burkoló elv (NBSZ 10.36.)

a kezdeti események egy adott csoportjában annak a legkedvezőtlenebb eseménynek a kiválasztása és elemzése, amelyről igazolt, hogy minden következménye tekintetében lefedi a csoport összes vizsgálandó eseményét.

Az események elemzésének egy fontos végeredményét a végesemény tartalmazza.

végesemény (3.11.2.1)

egy adott esemenylánc záróeseménye. Jellemzően

- 1. szintű PSA esetén „siker”, azaz stabil, biztonságos reaktorállapot, vagy „hiba”, azaz zóna- vagy fűtőelem-sérülést jelentő állapot.
- 2. szintű PSA esetén különböző mértékű és időbeliségű radioaktivitás-kibocsátást megtestesítő állapotok.

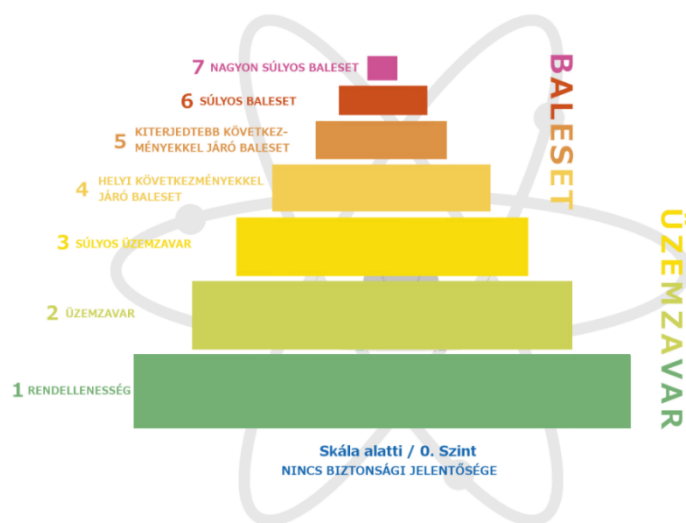
Elemzési és tervezési célból képezni kell az események lehetséges mértékadó csoportjait, melynek egyik eszköze a forgatókönyv elemzés.

forgatókönyv (szcenárió)

- a) egy megkövetelt vagy feltételezett állapot- és / vagy eseményhalmaz. A forgatókönyv leírhatja a körülményeket egyetlen időpontban vagy egyetlen eseménynél, vagy bemutathatja az állapotok és / vagy események időbeli történetét (IAEA (2007))
- b) modellezésre alkalmas üzemzavari vagy baleseti eseménysor, folyamat. Egy megfelelő eszközzel modellezett ilyen folyamat alkalmas lehet biztonsági elemzésként valamely kritérium teljesülésének vizsgálatára, bizonyítására. Olyan eszköz alkalmazása esetén, amely képes a folyamatot megfelelően modellezni (szimulátor), a scenáriók alkalmasak a személyzet képzésére, tréningeztetésére, kezelési utasítások tesztelésére, emberi hibák vizsgálatára stb. (N3a.12.2.1.).

12.3.Események biztonságra gyakorolt hatásai

Az események biztonsági jelentősége az INES (International Nuclear and Radiological Event Scale, IAEA) skála (12.2. ábra) segítségével határozható meg (AKFNT1.48.).



12.2. ábra: INES skála terminológiája

Az INES skála kidolgozásának célja ([109]):

- a lakosság tájékoztatásának könnyítése nukleáris vagy radiológia események kapcsán, de nem önálló tájékoztatási eszköz!
- alkalmazásával az egyes események, biztonsági súlyukat tekintve, összevethetők
- az esemény biztonsági jelentőségének megértését segíti elő
- egységes terminológia használata és átláthatóság segítése
- bizalom erősítés

Alkalmazása önkéntes az országok számára. Az alkalmazásának korlátjai (mely esetekre nem alkalmazható):

- veszélyhelyzeti osztályozás – nincs összefüggés a veszélyhelyzeti kategóriák, tervezési kategóriák és az INES skála szintjei között!
- sem nemzeti, sem nemzetközi irányba nem kapcsolódik hozzá formális jelentési rendszer, , csupán ajánlás

12.4.Események csoportjai

Az események megítélésének alapját az általános elvekben foglaltak mellett, az egyes szakterületek sajátosságai képezik. A különböző rendszerekre ható feltételezett eseményeket az érintett szakterületre vonatkozó szabályozási dokumentumok tartalmazzák, mely események körét az általános megközelítés szerinti események mellett, kiegészítésként kell figyelembe venni. Az alábbi csoportok mindezen elemeket tartalmazzák, ilyen módon az összeállítás a teljesség igényével készült.

Események áttekintését szolgáló csoportosítás

A tervezés, elemzés során figyelembe veendő és az atomerőmű különböző üzemi állapotát okozó eseményeket a szabályozási dokumentumok sorolják fel. A különböző forrásból összegyűjthető definíciók áttekintése céljából, és megértésük érdekében, meghatározhatók ezek különböző szempontok alapján képzett csoportjai.

Az események csoportosításának lehetséges szempontjai:

- biztonsági hatás
- következmény és veszélyesség
- következmény és súlyosság
- következmény és jelentőség

Legfontosabb szempont a biztonságra gyakorolt hatás. A veszélyesség figyelembevétele a veszélyek megnyilvánulási szintje alapján történik. A súlyosság megítélésének elsődleges alapja az okozott radioaktív kibocsátás mértéke. Ezt figyelembe veszik a biztonsági fontosság szerinti kategorizáláskor (biztonsági osztályba soroláskor). Az események jelentőség szerinti csoportosításának alapja a hatásági követelményeknek való megfelelés.

Az elemzés/tervezés kötelező eseménykombinációi és eseményhalmazai

A tervezés, elemzés során kötelezően figyelembe veendő események csoportjait az

- üzemvitellel
- balesetkezeléssel

kapcsolatos üzemállapotok összetevői és okozói képezik. Az üzemállapotok meghatározásai:

üzemvitel (NBSZ 10.190.)

a rendszerek, rendszerelemek működtetése során végzett operatív üzemeltetői tevékenység a nukleáris létesítmény alapvető céljának teljesítése érdekében a normál üzem, várható üzemi események és tervezési üzemzavarok alatt.

balesetkezelés (NBSZ 10.14.)

tervezési alapot meghaladó üzemállapotok során az üzemeltető által végrehajtott intézkedések, amelyek célja:

- az esemény súlyosbodásának, megakadályozása
- hosszú távú biztonságos és stabil állapot elérése; valamint a következmények csökkentése.

A figyelembeveendő eseménytípusokat szabályzati előírások rögzítik, melyeket a tervezési üzemállapotokat felsoroló táblázatban olvashatunk.

Fontos tudnunk, hogy eltérő eseménykombinációk és eseményhalmazok határozzák meg az üzemelő és a tervezés alatt álló atomerőmű üzemállapotát (NBSZ10.177.).

Az eseménycsoportokat alkotó eseményeket a Függelékben részletezzük.

13. Követelmények és megfontolások

Az atomerőmű létesítés és üzemeltetés során az atomerőművi rendszerek egésze és egyes részei külön-külön is érdeklődésre tartanak számot, a vizsgált rendszer megnevezésére az alábbi fogalmat alkalmazzuk:

érdekelt rendszer - SoI, system-of-interest (ISO/IEC/IEEE 42010)
a rendszerarchitektúra leírás elkészítésekor figyelembe vett rendszer.

Az atomerőművi rendszerek összetettsége következtében, a létesítményre vonatkozó rendszermodell olyan típusú rendszereket foglal magában, melyek leírásához figyelembe kell venni a szervezet működését, beleértve az emberi tényező jellegzetességeit. Erre már a követelmények meghatározása során tekintettel kell lennünk.

A következők a figyelembeveendő tervezési szempontokat és megfontolásokat részletezik, mely témák lényegében a tervezési követelmények feltárása és meghatározása köré csoportosíthatók.

13.1. Atomerőművi biztonság összetevői

Az atomerőművi technológia polgári alkalmazásának biztonsági meghatározói a

- nukleáris biztonság
- sugárbiztonság
- nukleáris védettség
- biztosítéki rendszer

szakmai területek kezelése és az ezekkel kapcsolatos műszaki-szervezeti részletek kialakítása.

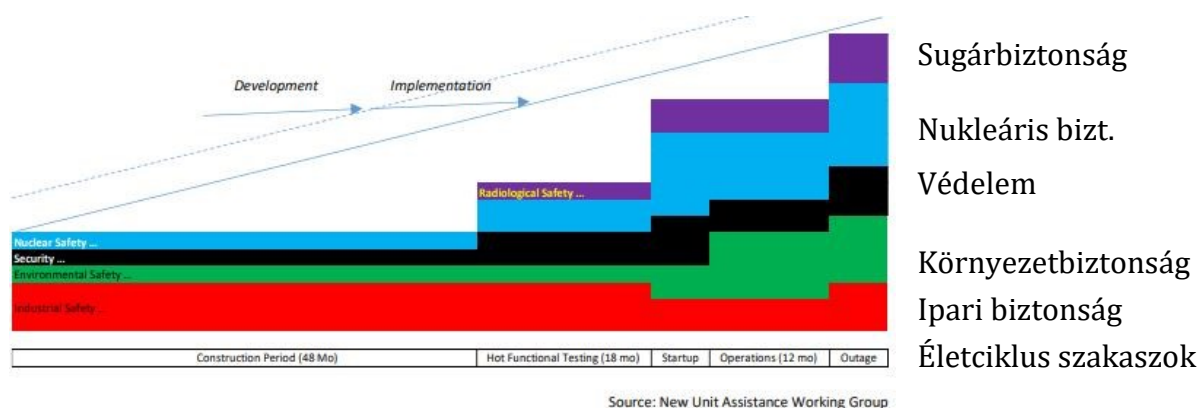
A korábban mondottakkal összhangban a biztonság lényeges meghatározójának tekintjük a nukleáris minőség biztosítását.

Az atomerőmű kialakításánál és működése során ki kell elégíteni továbbá a

- környezetbiztonság és az
- ipari biztonság

általános követelményeit.

A biztonsági területek és biztonsági szintek változásának áttekintését láthatjuk a 13.1. ábrán.



Építési periódus (48 hónap) Forró Indítás Üzemeltetés Leállás
 funkcionális próba (12 hónap)
 (18 hónap)

13.1. ábra: A biztonsági kihívások változása a projektfázisok függvényében ([13] Fig. C.1)

Az ábrából kitűnik, hogy a biztonsági kérdések a

- projekt teljes életciklusán keresztül értelmezendők
- a különböző biztonsági területek biztonsági szintje az életciklus során változhat
- a sugárbiztonság kérdése a radioaktív anyag beszállítása utáni időszakban jelentkezik

Fentebb felsorolt szakmai területek nagy jelentőséggel bírnak, ezért meghatározásuk igen fontos. A biztonsági területek definícióit a Függelékben közöljük.

13.2. Nukleáris biztonság és kapcsolódó fogalmai

A nukleáris szakterület tervezési feladatainál elsődleges a nukleáris biztonság, a kapcsolódó főbb fogalmak az alábbiak:

biztonság - safety

a) különböző veszélyforrásokkal szembeni (viszonylagos) védettség állapota.

b) túlélés és a fennmaradás lehetősége és képessége a létet fenyegető veszélyekkel szemben (B. Buzan in [19] 54. old.)

c) valamely építménynek, gépnek, szerkezetnek biztos szilárdsága, működésének zavartalansága, ill. az a jellege, hogy a környezetnek, a közelében vagy benne tartózkodóknak az épségét nem fenyegeti.

<https://www.arcanum.hu/hu/online-kiadvanyok/Lexikonok-a-magyar-nyelv-ertelmezo-szotara-1BE8B/b-1EF8E/biztonsag-2119D/>)

nukleáris biztonság – nuclear safety (Atv. 2. § 29.)

- megfelelő üzemeltetési feltételek megvalósítása
- balesetek megelőzése, illetve a
- balesetek következményeinek enyhítése

a nukleáris létesítmény, valamint a radioaktív hulladék-tároló életciklusának valamennyi fázisában, amelyek eredményeként megvalósul a munkavállalók, a lakosság és a környezet a létesítmények ionizáló sugárzásából származó veszélyekkel szembeni védelme.

veszély - danger

adott veszélyforrásnak való kitettség

veszélyeztető tényező

- a) olyan külső vagy belső eredetű hatás, amely kezdeti eseményt idézhet elő (NBSZ 10. 200.)
- b) olyan külső vagy belső eredetű hatás, amely veszélyezteti az erőmű biztonságát azáltal, hogy potenciálisan megakadályozza egy vagy több biztonság szempontjából fontos RRE biztonsági funkcióinak teljesítését, illetve potenciálisan olyan állapotváltozást okoz azokon, amely kezdeti eseményhez vezethet (N3a.12.3.1)
- c) olyan külső vagy belső eredetű hatás (lehet hirtelen esemény: pl. villámcsapás, belső tűz; vagy lehet időben elhúzódó állapot: pl. szárazság, extrém meleg, hanyag karbantartás), amely veszélyezteti az erőmű biztonságát azáltal, hogy potenciálisan megakadályozza egy vagy több biztonság szempontjából fontos RRE biztonsági funkcióinak teljesítését, vagy potenciálisan olyan állapotváltozást okoz azokon, amely kezdeti eseményt jelent (N3a.1. 2.1.).

13.3. Követelmény meghatározás

A követelmények meghatározása jelenti az alapot a létesítmény egészének tervezéséhez. Ilyen módon meghatározza a tervezendő rendszerek, rendszerelemek alapvető tulajdonságait, meghatározza a tervezés és az létesítmény biztonsági, minőségi paramétereit.

A követelmények meghatározását, az alábbiakban, a nukleáris biztonság tervezési környezetben tárgyaljuk.

13.3.1. Alapfogalmak és folyamatjellemzők

A rendszerek tervezése, a feladat lebontás során első feladat a követelmények meghatározása:

követelménymeghatározás - követelménymérnökség - requirements engineering (VTT (2015) 2.2)

különböző tervezési tevékenységek során alkalmazható, ellentmondásmentes követelményrendszer összeállítását célzó mérnöki folyamat. A konfigurációmenedzsment részének is tekinthető. Két fő tevékenységi területet foglal magában, a követelmény definíciót és követelmény menedzsmentet.

Az érdekelt rendszerek erősen különböző típusai következtében a követelmény definíciója is különböző lehet:

követelmény - requirement

a) szükséglet vagy elvárás, amely kinyilvánított, általában magától értetődő vagy kötelező.

Az „általában magától értetődő” annyit jelent, hogy a szervezet és az érdekelt felek számára szokás vagy általános gyakorlat, hogy a szóban forgó szükséglet vagy elvárás magától értetődő előírt követelmény, amelyet kinyilvánítottak, például dokumentált információban (MSZ EN ISO 9000: 2015).

b) olyan nyilatkozat, amely átültet vagy kifejez egy igényt, a kapcsolódó korlátozásokat és feltételeket (ISO/IEC/IEEE 15288, 3.36).

c) igény vagy kíváncsalom, amely nem feltétlenül kötelező minden körülmények között. Utalhat termék vagy folyamat jellemzőre vagy korlátozásra.

A követelmények értelmezése függ a folyamat állapotától, az absztrakció szintjétől és típusától (pl. funkcionális vagy teljesítmény követelmény, megszorítás) (SEBOK (2023) p.: 243).

A követelmények a korlátokat és célokat a tervezési- és a cél-térben határozzák meg ([36]):

- tervezési tér – az, amiről mérnökként döntünk
- cél-tér – az, amit tervezett rendszereink/termékeink elérnek, és ami megbízó számára fontos

A követelmények első megközelítésben általában globálisan, a tervezendő rendszer magas szintjére vonatkozóan fogalmazódnak meg, ezek lebontása alsóbb szintre, a rendszerelemek szintjére, a származtatás, amely a folyamat fontos, nem elhagyható része. Hozzá tartozik még a tervezési megoldás meghatározása.

követelmény származtatás ([36])

a folyamat egy, a szülői követelményen alapuló új követelmény megírásával jár. Ez olyan változtatásokat (általában több, vagy eltérő részletet) tartalmaz, amelyek a szülőkövetelményt vagy a szülőkövetelmény egy részét egy adott kontextushoz igazítja. Ennek az a hatása, hogy a követelményt az adott kontextusra „specializálják”.

A származtatás folyamatának követhetőnek kell lenni:

nyomon követhetőség – traceability (NASA (2016) 6.2)

két vagy több logikai entitás, például követelmény, rendszerelem, verifikáció vagy feladat közötti felismerhető kapcsolat.

kétirányú nyomon követhetőség - bidirectional traceability (NASA (2016) 6.2)

egy adott követelmény/elvárás nyomon követésének képessége a szülő követelményekhez/elvárásokhoz és a hozzárendelt gyermek követelményekhez/elvárásokhoz.

A műszaki követelmények meghatározását az alábbi definíció segíti:

műszaki követelmények meghatározásának folyamata ([36])

az érdekeltek (érintettek) elvárásain alapuló műszaki követelmények meghatározása, az alkalmazandó WBS (work breakdown structure)-projektmenedzsment modellre vonatkozóan. A folyamatban az érdekelt felek elvárásait (inputot, bemenetet) egyedi, mennyiségi és mérhető műszaki követelményekké alakítják (output, kimenet).

A folyamat tevékenységeket, követelményeket, iránymutatásokat és dokumentációkat foglal magában.

A követelmények megfogalmazásakor célszerű a kialakult gyakorlatot figyelembe venni, amely a követelménymeghatározás elvárt tulajdonságait/jellemzőit veszi sorra ([27] 5.2).

Követelmények meghatározása során, tervezési és üzemeltetési problémákkal kapcsolatban felhasználjuk a releváns kritériumokat.

kritérium (4.4.2. alapján)

a döntések vagy ítéletek megalapozására szolgáló feltétel. A kvantitatív vagy kvalitatív jellegű megállapításokat megalapozott elvekből és szabványokból származtatják.

A megalapozott kritériumoknak megfelelően, a figyelembe veendő feltételek és események sorozata biztosítja, hogy a létesítmény ellen tud állni az ezek által keltett igénybevételeknek, a jóváhagyott határértékek túllépése nélkül.

A követelmények meghatározásánál lényeges szempont, hogy ezeknek összhangban kell lenniük a WBS munka lebontási szerkezet tagolásával. Ennek könnyen belátható oka az, hogy a gyakorlatban ilyen módon kapcsolhatók minden munkavégzéshez a követelmények.

A követelmények meghatározásának eredménye a releváns projekt-követelmény rendszer létrejötte.

13.3.2. Követelményforrások

Az atomerőmű nukleáris tervezései követelményei az általános nukleáris, és a speciális, atomerőművi követelmények csoportjából tevődnek össze.

NAÜ megközelítésében -kiadványaik alapján - a két csoport egyszerűen elkülöníthető. A kiadványok segíthetnek a követelmények értelmezésében, de, mint korábban jeleztük, a hazai erőműre vonatkozó követelményeket a hazai szabályozási dokumentumok, elsősorban az NBSZ felhasználásával kell meghatározni.

Az atomerőmű tervezése és üzemeltetése nemzetközi felülvizsgálatához a NAÜ speciális követelményeket tartalmazó köteteiben foglaltak szolgálnak alapul (IAEA (2016), (2016B), (2016C)). Ezen okból a vizsgálatra való felkészülés alapjául is szolgálhatnak.

Általános követelmények

Specifikus követelmények

Atomerőmű



13.2. ábra: Általános és speciális (atomerőművi) követelmények

A követelmények forrásai általában ([27]):

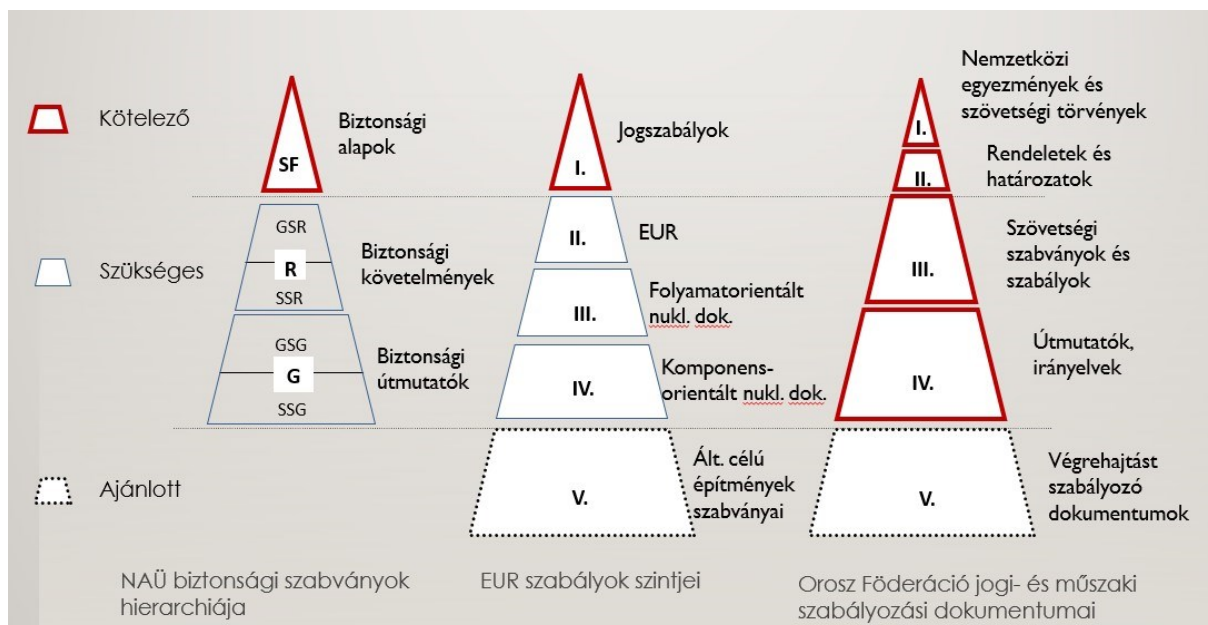
- érdekeltk igényei
- szabályozás (műszaki tartalmú jogszabályok)
- szabványok
- egyéb források
 - gyakorlati tapasztalatok
 - projekt analízis
 - projekt hierarchia elemei

A követelmények meghatározásának folyamatát a követelmények forrásaival összhangban kell tárgyalnunk.

Első helyen kell megemlítenünk a projekt érdekeltjei elvárásainak meghatározását. Az ennek során nyerhető bemeneti információ műszaki követelménnyé való transzformációját kell elvégezni.

A figyelembevehető források áttekintésére felhasználhatjuk a különböző szabályozások szerkezetét bemutató 13.3 ábrát. Ez bemutatja, egyben a felhasználás szempontjából minősíti (kötelező, szükséges és ajánlott kategóriákkal) a különböző forrás típusokat, dokumentumfajtákat.

Az ábra a nemzetközi összehasonlítást szolgálja, a hazai szabályozási struktúra hasonlóan rajzolható fel.



13.3. ábra: Szabályozási dokumentumok hierarchiái ([108])

A szűkebb értelemben vett követelményeket a műszaki tartalmú jogszabályok foglalják magukban. Ezek mellett számos szakmaspecifikus és létesítmény specifikus tényezőt kell figyelembe venni, ezek projekt szintű összeállításának részleteit a projektkövetelményekre vonatkozó alfejezet tartalmazza (ld. alább).

Az Európai Atomerőmű Üzemeltetők szervezete dolgozta ki az ábra középső piramisát, amely iránymutatásul szolgál a könnyűvízes reaktorról felszerelt atomerőművek tervezéséhez. A nukleáris piramis követelmény dokumentum csoportokat sorol föl és tartalmazza a szervezet saját (EUR) összeállítását is, amely jellegéből fakadóan nem tekinthető szabályozásnak, de célszerűként figyelembevétele mindenképpen érdemes.

A hazai nukleáris szabályozás nagyrészt követi ezt a tagolódást, esetenként más megnevezést használva.

Az ábrán látható két szélső piramist viszonyítási alapként tüntettem fel. A nukleáris biztonsági szempontból a követelmények figyelembevétele alapvetően fontos, melynek nemzetközileg elfogadott rendszerét a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség szabványai tartalmazzák. A meghatározó követelményeket a magyar szabályozási dokumentumok tartalmazzák, az egyes dokumentumok egyébként útmutatóként vehetők figyelembe.

Az orosz föderáció szabályozási struktúráját mutatja az ábra jobb oldali piramisa. Az egyes szintek főbb csoportjai megfeleltethetők az európai szabályozási piramisnak, természetesen eltérő fogalmakat használva.

Az ábrán a kötelező, a szükséges és az ajánlott jellegű szabályozások eltérően vannak jelölve. Megjegyzendő, hogy a tervezési szerződés aláírásával az abban foglaltak kötelezővé válnak, függetlenül ezek jogszabályi minősítéséről.

12.3.2. Validáció és verifikáció

A követelmények meghatározását több szempontból kell ellenőrizni:

validáció - érvényesítés

a) a folyamat olyan vizsgálattal és objektív bizonyítékokkal történő, megerősítése, hogy az ember-gép interfész rendszer egésze, beleértve a felhasználót is, sikeresen képes ellátni tervezett funkcióit, és teljesíteni tudja céljait és célkitűzéseit azokban a környezetekben, amelyekben várhatóan működni fog (IAEA (2019)).

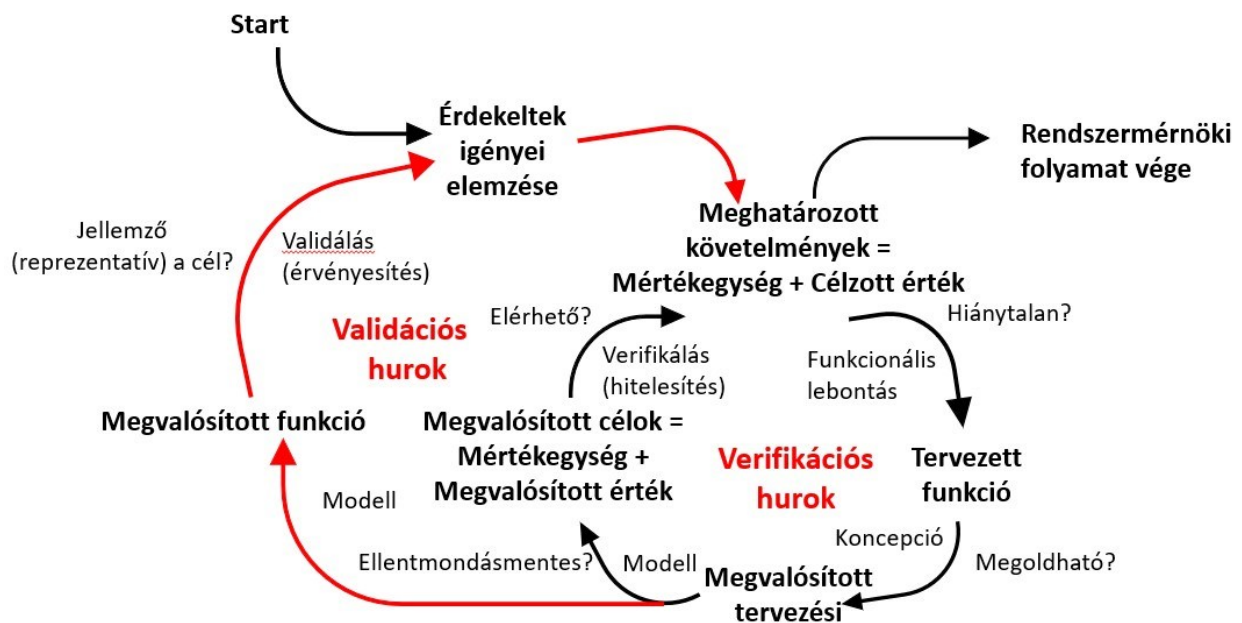
b) biztosíték arra, hogy a termék, szolgáltatás vagy rendszer megfelel az ügyfél és más azonosított érdekelt felek igényeinek ([36] p.: 47. alapján).

c) az érvényesítés célja, hogy igazolja, hogy a szóban forgó rendszer – fejlesztésének bármely fázisában és a telepítés után – minden szempontból megfelel a követelményeknek. (MSZ EN 50126:2001)

verifikáció - igazolás ([36] p.: 47. alapján)

ellenőrzés, amely során azt ellenőrzik, hogy a termék, szolgáltatás vagy rendszer megfelel-e a vonatkozó szabályozás(ok)nak, követelmény(ek)nek, specifikáció(k)nak vagy előírt feltétel(ek)nek.

Az ellenőrzési folyamatok összefüggéseit a 13.4. ábra szemlélteti.



13.4. ábra: Validációs és verifikációs hurok ([36] p.: 47. alapján)

13.4. Atomerőművi követelmények

A vízhűtésű, termikus reaktorokkal működő új atomerőművi blokkok tervezési követelményei (NBSZ 3/a.)

- általános tervezési követelmények
- speciális tervezési követelmények
- kiemelten fontos rendszerek és rendszerelemek tervezése
 - atomreaktor és az aktív zóna
 - fővízkör
 - hőelvitel
 - blokk- és tartalékvezérlőműszaki támogató központ
 - villamos rendszerek és irányítástechnika
 - konténment és rendszerei
 - segéd és kiszolgáló rendszerek
 - rendszerelemek speciális tervezési követelményei figyelembevétele
- sugárvédelem
- nukleáris üzemanyag és a radioaktív hulladék kezelése, tárolása
- telephelyen belüli nukleárisbaleset-elhárítás tervezése

csoportokba sorolható.

Az atomerőművi követelményeket szakterületi bontásban ismertetjük.

13.4.1. Alapvető tervezési követelmények

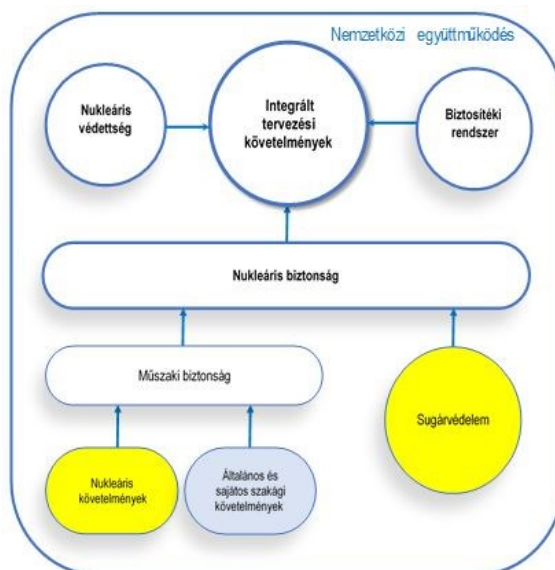
A szabályozási dokumentumokból kigyűjthetők azon általános nukleáris követelmények, melyek a tervezési szakágak többségére vonatkoznak, vagy vonatkozásaik értelmezhetők. A nukleáris és sugárbiztonsággal kapcsolatos, általános követelmények csoportjai az

- élettartam
- telephely elrendezés
- technológiák és tervezési megoldások
- szerkezeti anyagok
- biológiai védelem
- dekontaminálás
- leszerelés

témák köré rendezhetők, részleteit a Függelékben közöljük.

13.4.2. Nukleáris követelménycsoportok

A nukleáris szakmai terület követelményrendszerének csoportjait a 13.5. ábrán mutatjuk be.



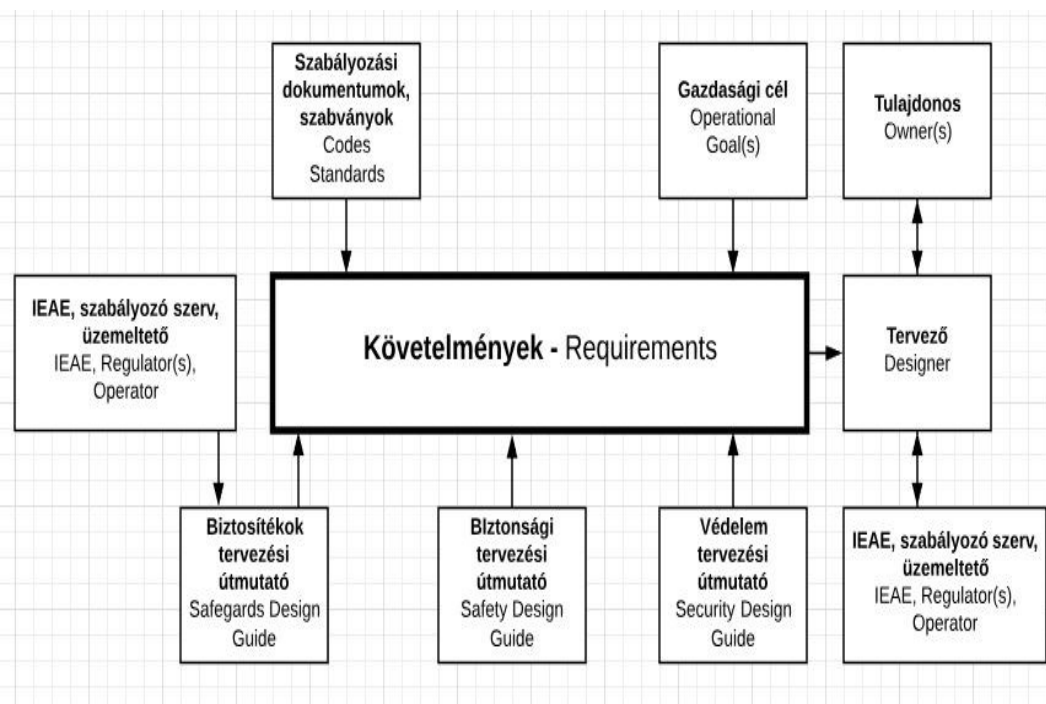
13.5. ábra: A nukleáris tervezési követelményrendszer

A biztonsági követelmények főként a technológia működésére vonatkoznak, a védeettséggel kapcsolatosakat a létesítmény tervezési követelményei tartalmazzák. Az ábrán jól elkülöníthető az integrált tervezési módszer három fő területe. Ezek a nukleáris biztonság, a nukleáris védetség (fizikai védelem) és biztosítéki rendszer. A sárgával jelölt területek a radioaktív/nukleáris anyag jelenlétéhez tartozó speciális követelmények, a kék szín a szakterületek alapvető, azaz a megvalósítás általános szakmai és szabályozási követelményeit jelöli.

A követelmények tartalmára kihatnak a nemzetközi együttműködésben nyert információk. Tervezői szinten azzal számolhatunk, hogy ezek a vonatkozó szabályozási dokumentumokban szerepelnek.

13.4.3. Projektkövetelmények

A projekt egészére vonatkozó követelményeket különböző forrásokból kell összeállítani. A tervezési alapkövetelmények forrásait, a szervezési folyamat főbb információs kapcsolatait a 13.6. ábra mutatja.



13.6. ábra: Atomerőmű tervezési követelmények összeállítása (adaptálva ([IAEA (2013), Fig. 1.)

Az ábra alsó sorának első három eleme tartalmazza a 3S követelménycsoportok szerinti követelményeket, az integrált tervezés témaköreit.

három-S elv/kapcsolat – 3S; safety-security-safeguard
szabályozási koncepció a nukleáris energia békés célú felhasználására, a nukleáris biztonság, védelem és biztosítéki területek összekapcsolásával.

Az elv érvényesítése, a hazai tervezési gyakorlatban az integrált tervezés keretén belül történik (ld. általános tervezési alapfogalmak).

A forrásokkal kapcsolatban meg kell jegyeznünk, hogy míg a szabályozásban foglalt követelmények figyelembevétele (a projektkövetelmények összeállításánál) kötelező, a szabványok előírásai nem tekinthetők annak. Az ezzel kapcsolatos

A követelmények meghatározása jelenti az alapot a létesítmény egésze tervezési folyamata számára. Ilyen módon meghatározza a tervezendő rendszerek, rendszerelemek alapvető tulajdonságait, meghatározza a tervezés és az létesítmény biztonsági, minőségi paramétereit.

A megalapozott kritériumoknak megfelelően, a figyelembe veendő feltételek és események biztosítják, hogy a létesítmény ellen tud állni az ezek által keltett igénybevételeknek, a jóváhagyott határértékek túllépése nélkül.

Gyakorlati körülmények között a projektkövetelmények összessége jelenti a tervezési alapot, ezek meghatározzák a tervezendő-megvalósítandó-üzemeltetendő rendszer elvárt funkcióit és jellemzőit.

A projekt egészére vonatkozó követelményeket különböző forrásokból kell összeállítani (ld. korábban). A szabályozási dokumentumok követelményei és a szabványok rendelkezései mellett a gazdasági célokkal összefüggő követelményeket is be kell illeszteni a követelmények rendszerébe. A követelmények véglegesítésénél, a specifikációk kidolgozásánál a tervezőnek egyeztetési lehetősége/kötelezettsége van mind a tulajdonossal, mind a szabályozó hatósággal.

Az összeállított követelmény gyűjtemény a szerződés aláírásától kötelezővé válik, függetlenül annak forrásától, származásától.

14. Tervezés

Az atomerőművi rendszerek tervezése nagymértékben szabályozott. A közreműködő nagyszámú szakterület tevékenységét meghatározó nukleáris környezet bemutatásával és az általános elvek áttekintésével kívánjuk a terület megismerését és megértését elősegíteni.

14.1. Tervezési feladatok

A tervezés tárgya/területe

Gazdasági jellegű feladat	– beruházás előkészítése és lebonyolítása
Műszaki jellegű feladat	– komplex létesítménytervezés
Szervezetalakítás	– gazdálkodó szervezet létrehozása

Gazdasági jellegű feladat

A feladatcsoport műszaki vonatkozásai miatt szerepel az útmutatóban.

helykijelölés (telephelykutató)

- a tervezett létesítmény helyszínének meghatározása az ipartelepítés általános elveinek alkalmazásával.
- a létesítmény területi elhelyezkedésével kapcsolatos hatékonysági feltételeket a telephellyel szembeni követelmények, illetve a telephelyi alternatívák adottságainak számbavételén és összevetésén keresztül érvényesíti.

A szervezetalakítással kapcsolatban, a szervezet működésének, és a működés hatásának rövid kifejtése a nukleáris projekt fejezetben található.

Műszaki jellegű feladat

(a feladatcsoport egyik tevékenysége)

A komplex létesítménytervezés első, generáltervezés jellegű eladata az

elrendezés tervezése (telepítési tervezés)

- a létesítmény vezérterve részeként, a munkában résztvevők munkájának összehangolását biztosítja.
- a műszaki, gazdasági, környezetvédelmi, tűzvédelmi, ipari biztonsági stb. szempontok figyelembevételével történő elrendezés kidolgozásával foglalkozik.

A kapcsolódó szakterületek munkájának fontos eszköze a

létesítményjegyzék (építményjegyzék)

- a munka előrehaladásával finomodik, egyre részletesebb lesz
- legfontosabb jellemzők áttekinthetőségét segíti és kulcsot ad a jelölésekhez
- építmények beazonosítására egyedi kódok szolgálnak.
Ezt teszi lehetővé a KKS kódrendszer, amely az erőművi létesítmény rendszerei, rendszer elemei jelölésére egységesen alkalmazható

A tervezési módszer általános megközelítési módja:

komplex tervezési módszer

- a fokozatos megközelítés
- összehangolás, informálás
- műszaki és gazdasági döntések sorozata
- optimalizálás – nem a részletek maximális kielégítése
- bővítési lehetőségek biztosítása

14.2. Az atomerőmű üzem módjai és üzemállapotai

Az atomerőmű működését az üzemeltetés viszonyai között vizsgáljuk:

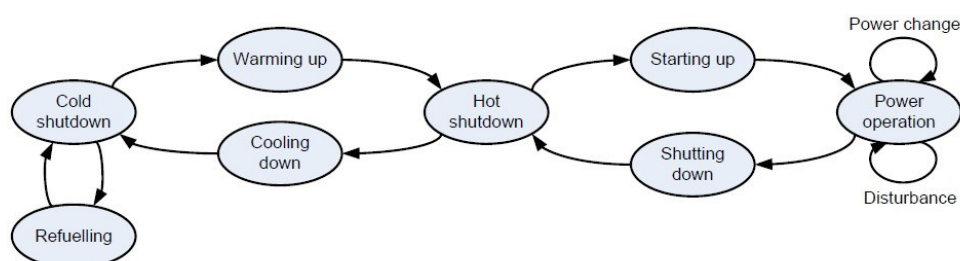
üzemeltetés (NBSZ 10.181.)

a nukleáris létesítmény engedély szerinti működtetéséhez szükséges tevékenységek együttese, beleértve az üzemvitelt, a karbantartást, a műszaki háttér biztosítását, valamint a felügyeletet.

Az atomerőmű működése az üzemmódok és üzemállapotok leírásával jellemezhető:

üzemmód - operational mode (Faisandier in SEBOK Glossary)

aktív funkcióival jellemzett rendszer működési helyzete/konfigurációja. Egy üzemmódon belül a rendszer specifikus működési forgatókönyveket hajthat végre, és így aktiválhatja a megfelelő funkciókat (hasonlóképpen, mint az állapot)



14.1. ábra: Atomerőművi üzemmódok (VTT (2015) Fig. 19.)

üzemállapot - plant states – POS, plant operational state/status

a) egy eszköz, egység, rendszer vagy központ üzemi funkciója teljesítésének „teljesen működőképes”, „korlátozott” vagy „nem elérhető” szintű képessége.
<https://www.lawinsider.com/dictionary/operational-status#:~:text=Operational%20Status%20means%20the%20ability,Sample%201>

b) az atomerőmű üzemvitel és balesetkezelés állapotai

Adott konfiguráció esetén az üzemállapotokat az üzemviteli, illetve balesetkezelési terjedelemben sorolt események, illetve következményeik határozzák meg.

Az atomerőművek üzemmód alapján történő megkülönböztetése az erőművek éves ciklusában végzett tevékenységek alapján, illetve a fűtőelemek cseréjének végrehajtása alapján történik.

14.2.1. Éves üzemeltetési ciklus lefolytatása

Az éves ciklus PWR, BWR és sok más reaktor típusnál az alábbiak szerint alakul:

- (üzemanyag) átrakás
- reaktor összeszerelés
- primerköri felmelegítés (meleg készenléti állapot)
- reaktor kritikusság elérése
- kisteljesítményű üzem (ez alatt a szekunderkör és a turbinák felmelegítése, a generátorok szinkronizálása az országos hálózattal és a hálózatra kapcsolás)
- teljesítménynövelés
- névleges üzemi állapot elérése
- energiatermelés névleges és ahhoz közeli szabályozott teljesítményeken
- az előírt üzemelési idő után a primerkör lehűtése, karbantartások elvégzése

A leállás utáni újraindítás is hasonló módon történik.

14.2.2. Fűtőelem csere lebonyolítása

A fűtőelemek cseréjének módja a reaktortípus egyik jellemzője.

Vannak reaktorok, melyeknél az elhasznált fűtőelemek cseréjét a névleges üzem alatt, folyamatosan lehet végezni. Ilyen a csatornatípusú reaktor, pl. a kanadai CANDU vagy a szovjet/ orosz RBMK reaktor típus ([10] I. p.: 235. alapján).

Az Európában és USA-ban leggyakrabban használt nyomottvizes (PWR) és forralóvizes (BWR) erőművek reaktorai ezt nem teszik lehetővé.

Az aktív zóna egy zárt acéltartályban (reaktortartályban), aránylag magas nyomás alatt üzemel (PWR 120-140 bar, BWR 60-80 bar) A fűtőelemek cseréjéhez a primerkört lassan 50-60 °C- ra le kell hűteni, a nyomást ennek megfelelően lehet a légköri nyomásra csökkenteni, ezután szabad a reaktor fedelét felnyitni és a

fűtőelemeket kiemelni. Ez rendszerint évente, vagy kissé hosszabb időszakonként történik meg.

14.3.Tervezési üzemállapotok

A tervezés során figyelembe vett események, eseménykombinációk és eseményhalmazok, várható következményeik és súlyosságuk alapján, két fő csoportba sorolhatók:

- üzemviteli események
- balesetkezelés körébe tartozó események.

Az események fenti besorolása felhasználható az üzemállapotok osztályozására. Az előidézett folyamatok súlyossága és jellemzői alapján az üzemállapotok két fő csoportja:

- tervezési alapba tartozó (üzemviteli) üzemállapotok
- tervezési alap kiterjesztésének csoportjába tartozó üzemállapotok

Az atomerőmű működésének, az esetleges következmények elemzésének és engedélyezésének alapja a tervezési alapba és a tervezési alap kiterjesztésébe tartozó üzemállapotok.

új atomerőmű üzemállapotai (NBSZ 10.177.3.)

a) a tervezési alapba tartozó üzemállapotok	(TA – DBC design basic condition)
aa) normál üzemi állapot	(TA1)
ab) várható üzemi események	(TA2)
ac) kis gyakoriságú tervezési üzemzavarok	(TA3)
ad) nagyon kis gyakoriságú tervezési üzemzavarok	(TA4)
b) a tervezési alapot meghaladó, annak kiterjesztéséhez tartozó üzemállapotok	(TAK–DEC design extension condition)
ba) komplex üzemzavarok	(TAK1)
bb) súlyos balesetek	(TAK2)

A tervezési alap kiterjesztése (TAK1-2) már olyan üzemállapotoknak felel meg (N3a.12.3.1.2.1.), ahol

- a műszaki biztonsági célkitűzések már nem teljesülnek hiánytalanul, de
- az általános biztonsági és a sugárvédelmi célkitűzésekből levezethető kritériumok lehető legnagyobb mértékben való teljesítése érdekében a tervezés hatékony eszközöket biztosít

Az üzemállapotok jellemzőit a .1. és 14.23. táblázatban foglaljuk össze.

14.1. táblázat: Tervezési alapba tartozó üzemállapotok

Tervezési alapba (TA) tartozó üzemállapotok - design basis condition (DBC)			
Normál üzem TA1 (DBC1)	Várható üzemi események TA2 (DBC2)	Kis gyakoriságú tervezési üzemzavarok TA3 (DBC3)	Nagyon kis gyakoriságú tervezési üzemzavarok TA4 (DBC4)
A nukleáris létesítmény a nukleáris biztonsági hatóság által jóváhagyott Üzemeltetési Feltételek és Korlátok betartása mellett működik.	A tervezési alapban feltételezett kezdeti esemény által kiváltott és az egyszeres meghibásodás elve szerint elemzett, továbbá ezen elemzések által lefedett olyan folyamat, amely jelentős eséllyel megvalósul a nukleáris létesítmény üzemideje során.	A tervezési alapban feltételezett kezdeti esemény által kiváltott és az egyszeres meghibásodás elve szerint elemzett, valamint ezen elemzések által lefedett a nukleáris létesítmény üzemideje során csekély valószínűséggel előforduló üzemállapot, amely csak a tervekben meghatározott jellegű és mértékű fűtőelem károsodást eredményez.	
Események és eseménykombinációk			
Telephely-specifikus kockázatvizsgálat alapján történő kiválasztás és besorolás. Legalább az NBSZ 3a.2.2.4300-ban felsorolt külső veszélyeztető tényezők. Legalább az NBSZ 3a.2.2.4500-ben és 3a.2.2.470-ben felsorolt belső események. A 3a.2.2.4300 eseményei kategóriái (3a.2.2.4600 szerint) gyakoriságuk alapján, módosítható ha ezt a megfelelő biztonsági elemzés igazolja.			
3a.2.2.4500 -a) és b) listák	3a.2.2.4500 -c) lista	3a.2.2.4500 -d) lista 3a.2.2.470	3a.2.2.4500 -e) lista 3a.2.2.470
Gyakoriság (f) alapján kategorizálva			
-	$f \geq 10^{-2}/y$	$10^{-2}/y \geq f \geq 10^{-4}/y$	$10^{-4}/y \geq f \geq 10^{-6}/y$
Tervezési követelmények és kritériumok forrása: Nukleáris biztonsági követelmények, nukleáris és ipari tervezési szabványok.			
Az üzemállapottal kapcsolatos tevékenység: Üzemvitel.			

14. táblázat: Tervezési alap kiterjesztése

Tervezési alap kiterjesztése (TAK) - design extension condition (DEC)	
Komplex üzemzavar TAK I (DEC1)	Súlyos balesetek TAK2 (DEC2)
A várható üzemi események és a tervezési üzemzavarok körén kívül eső üzemállapot, amely a tervezési alapba tartozó üzemállapotoknál súlyosabb következményekkel járhat, üzemanyag-olvadással nem járó fűtőelem-sérülést okozhat	Üzemanyag-olvadással együtt járó , TAK I - <u>nél</u> súlyosabb, telephelyen kívüli hatásokat is okozó üzemállapot
Események és eseménykombinációk	
Valószínűségi módszerekkel és mérnöki megfontolásokkal kiegészített determinisztikus elemzésekkel kiválasztva Legalább az NBSZ 3a.2.2.6300-ban felsoroltak, ha a tervezési alapnak nem részei, és az adott erőműtípusra értelmezhetők TAK I események kiválasztási szempontjai NBSZ 3a.2.2.6400 szerint	
Kezdeti esemény és független esemény(ek) kombinációja Nem független események kombinációja Egy kis gyakoriságú, jelentős hatású esemény	
Tervezési követelmények és kritériumok forrása: Az üzemállapotok jellemzőiből származtatással meghatározva, nukleáris és ipari szabványok	
Az üzemállapottal kapcsolatos tevékenység: Balesetkezelés	

14.4.Építési szerkezet-állapotok

Tartószerkezeti tervezési állapotok

A határállapot koncepció szerint minden lehetséges tervezési állapotban igazolni kell, hogy az

- alkalmazott tartószerkezeti és tehermodelleket alkalmazva,
- a hatásokat, az anyag-, vagy termékjellemzőket és
- a geometriai méretek tervezési értékeit figyelembe véve,

az adott határállapot túllépése nem következik be (N3a.39.4.9.).

A lehetséges tervezési üzemiállapotok az atomerőművi

- üzemvitel (TA, tervezési alapba tartozó üzemiállapotok)
- tervezési alap kiterjesztéséhez tartozó állapotok

korábban ismertetett üzemiállapotai.

A tartószerkezet tervezési állapotai:

tartószerkezeti tervezési állapotok (N3a.39.4.9. alapján).

- tartós tervezési állapotok, a szokásos használat körülményeit definiálják;
- ideiglenes tervezési állapotok, a tartószerkezet rövid ideig tartó használatát (például a megvalósítás, javítás állapotát, üzemzavar) jelentik;
- rendkívüli tervezési állapotok, a tartószerkezetre ható kivételes körülmények
 - külső hatások
 - belső hatások
 - tervezési alap kiterjesztése
 - TA1-4 és TAK 1-2 üzemiállapotokban bekövetkező károsodások körülményeit írják le
- szeizmikus tervezési állapotok, melyek földrengés által terhelt szerkezetek működési körülményeit írják le.

Az erőtani követelmények teljesülésének ellenőrzéséhez - az előírt tervezési élettartam mellett – teherbírasi és használhatósági határállapotokat definiálunk. A határállapotok megfelelőségét a feltételezett tervezési állapotokban kell igazolni.

Az időtől függő, halmozódó jellegű hatások esetén a határállapotok (pl. a fáradás) igazolásakor a használati élettartamot is figyelembe kell venni.

Atomerőművi tervezési állapotok terhei és tervezési paraméterei

normál üzemi állapot (TA1) tervezési paraméterei (N3a.39.4.8.)

- d) állandó terhek,
- e) eseti terhek,
- f) hasznos terhek (pl. csővezetékek, komponensek, üzemi terhei),
- g) szabványos környezeti hatások (hó, szél, külső hőmérséklet).

várható üzemi események (TA2 üzemállapot) (N3a.39.4.8.)

TA1 üzemállapot terhei kiegészülve a következő rendkívüli terhekkel:

- a) nyomástartó berendezések és csővezetékek számára a szabványok által előírt próbaterhelések, pl. a nyomáspróba értéke,
- b) extrém környezeti hatások (hó, szél, külső hőmérséklet), tervezési földrengés,
- c) emberi eredetű hatások (pl. repülőgép becsapódás).

kis és nagyon kis gyakoriságú tervezési üzemzavarok (TA3 és TA4) (N3a.39.4.8.)

TA3 és TA4 üzemállapotokban a tervezési paraméterek kiegészülnek az üzemvari események hatásaival:

- a) csővezetékek hatásai a konténment szerkezetére baleseti tönkremenetel esetén,
- b) csővezeték törések hatásai,
- c) csővezeték és földrengés együttes hatása,
- d) egyéb üzemzvari események, melyek hatással lehetnek az építményre.

A tervezési üzemzavar (TA3-4) elemzés eredményeit a kritikus tervezési paraméterek meghatározásához kell használni.

tervezési alap kiterjesztésébe tartozó üzemállapotok (TAK1 és TAK2 állapot) (N3a.39.4.8. alapján)

- a) összetett (többszörös) meghibásodás, jelentős zónasérüléssel járhat,
- b) kombinált kezdeti események, a tervezési alapan figyelembe vett esemény és egy ettől független másik esemény vagy körülmény egyidejű bekövetkezése esetén jönnek létre, s az így lezajló folyamat következményei a tervezési alapan specifikáltnál súlyosabbak,
- c) egymástól nem független események bekövetkezése, amelyet a terv elviekben kezelt, ilyen lehet például földrengés és földrengés következtében fellépő csőtörésből származó hűtőközeg-vesztés,
- d) tervezési alap kiterjesztésébe kerülhet olyan egyszeri esemény, mint például a nagy polgári légijármű rázuhanása az atomerőműre.

14.5.A tervezés alapfogalmai

A fejezet a műszaki tervezés részleteit tartalmazza.

14.5.1. Általános tervezési alapfogalmak

Az egyik legáltalánosabb emberi tevékenység a tervezés, ennek megfelelően szinte végtelen számú meghatározása áll rendelkezésünkre. A számunkra érdekes meghatározások az alábbiak:

tervezés – design

a) a tervezés a létesítmény és részei koncepciójának, részletes terveinek, alátámasztó számításainak és specifikációinak kidolgozási folyamata (IAEA (2019) alapján).

b) az emberi igényeken alapuló követelmények megállapításának folyamata, transzformációjuk teljesítmény specifikációkká és funkciókká, majd kreatív, tudományos, műszaki leképezésük és átalakításuk (a korlátozások tárgyát képező) tervezési megoldásokká, azért, hogy gazdaságosan gyárthatók és előállíthatók legyenek ([11]).

c) szintetizáló tevékenység, amely a konkrét társadalmi igény kielégítésére szolgáló létesítmények kialakításához felhasználja és alkalmazza a tudomány eredményeit, ezeket számos esetben kutatással egészíti ki, és vannak benne alkotó mozzanatok is. ([21])

Atomerőművi tervezési területen rendkívül fontos az

integrált tervezés (3a.2.1.3000. alapján)

a nukleáris biztonsági, a fizikai védelmi és a biztosítéki követelmények figyelembevétele integrált módon, a kölcsönhatásokra való tekintettel (ld. még 3S elv).

Egyes esetekben a tervezés fogalmát, hibásan, a méretezéssel azonosnak tekintik:

méretezés

a műszaki tervezésnek az a része, amelynek feladata a létesítmény rendeltetésszerű használata esetén, az előírt élettartam alatt, a kapacitás műszaki és gazdasági, minőségi és mennyiségi jellemzőinek optimális valószínűséggel való meghatározása.

A valószínűség-elméleten alapuló méretezéselméletből ki kell zárni a tudatlanságból, a hiányos ellenőrzésből, a súlyosan szabálytalan üzemből, a bűncselekményből származó hatásokat.

Minden tervezésnél számolnunk kell méretezési tartalékkal.

méretezési tartalék – design margin

időben változva két részből áll

- általában folyamatosan csökkenő részből
- véletlen jellegű részből, ami sztochasztikus folyamat

A biztonság (méretezési tartalék) nullára csökkenésének két esete:

- a berendezés, a tervezett élettartam alatt, az egyik szakág szempontja szerint meghibásodik, más szempontból üzemképes
- a berendezés minden szakág szerinti szempontból használhatatlanná válik, vagyis a méretezési tartalék minden szakágra nézve zérussá válik. Ebben az esetben az okozott károk jelentősök

A tervezés egyik legfontosabb kiinduló adata a

tervezett élettartam – design lifetime

a) az az időtartam, amelyre bizonyítható, hogy a rendszerelemek a normál üzemi paraméterek és a várható üzemi események által kiváltott igénybevételek öregedést okozó hatásai ellenére képesek ellátni biztonsági funkciójukat, a normál üzem, a várható üzemi események és a tervezési üzemzavarok környezeti paramétereinek figyelembevételével (NBSZ 10. 166.).

b) az az időtartam, ami alatt a létesítmény vagy annak egy része az előírt karbantartási és ellenőrzési feltételek betartása mellett egy előre megadott valószínűséggel hibamentesen működik ([25]).

A tervezési tevékenység a tervezési folyamat keretén belül történik.

tervezési folyamat – design process

olyan munkaigényes eljárás, amelynek eredménye egy termék vagy eljárás tervében jelenik ki. Jellemét tekintve két különböző jellegű folyamat,

- az elemzés és a képzelet egymásra hatásán alapuló kreatív folyamat és a
- megismerést/tervezői megoldást célzó folyamat

együttese. Az alkotó (kreatív) és a tervezési folyamat integrálható, a kreatív folyamat a tervezési folyamat alrendszerét képezi ([6] p.: 9 alapján).

14.5.2. A biztonság tervezési alapfogalmai

A biztonságra történő tervezés alapfogalmai:

biztonsági funkció (NBSZ 10. 24.)

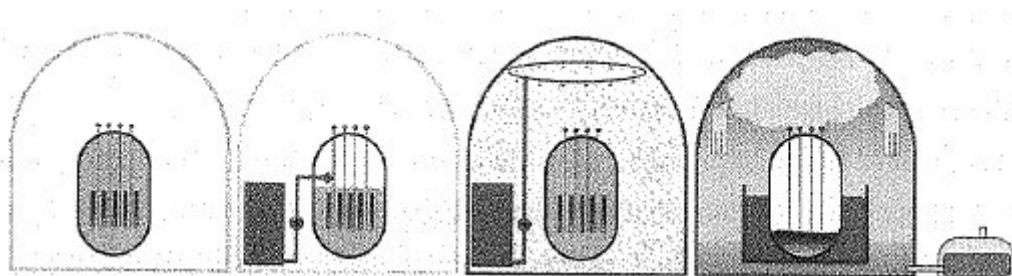
várható üzemi esemény, üzemzavar vagy baleset, atomerőművek esetében a súlyos baleset kialakulásának megelőzésére vagy következményeinek korlátozására előírányzott funkciók, amelyek hozzájárulnak, vagy hozzájárulhatnak az alapvető biztonsági funkciók teljesüléséhez.

alapvető biztonsági funkciók (NBSZ 10. 4.)

A nukleáris létesítmény biztonságos üzemeltetéséhez és a vele kapcsolatos tevékenységek alapjául szolgálnak az alábbi biztonsági funkciók:

- a) a reaktivitás szabályozása (például leállítás);
- b) hőeltávolítás a besugárzott fűtőelemekből (például hűtés);
- c) a radioaktív anyagok visszatartása (például lokalizálás).

A biztonsági funkciók működését a 14.2. ábrával illusztráljuk.



1. leállítás

2. hűtés

3. lokalizálás

4. balesetkezelés

14.2. ábra: Biztonsági funkciók ([10] I. 3.2-3 ábra alapján)

A biztonsági funkciók, másképpen fogalmazva, előbbieket kiegészítve:

- a biztonságos leállítást minden körülmények között biztosítani kell, az állapotot fenn kell tudni tartani
- a maradványhő eltávolításáról gondoskodni kell
- a radioaktív anyagokat a technológiai épületeken belül lokalizálni kell
- a kibocsátáshoz vezető balesetek esetén a következményeket mérsékelni kell

A biztonság létrehozása inherens módon és beépített biztonsági rendszerekkel oldandó meg.

14.6.A tervezés elvi alapjai

A nukleáris létesítmények tervezésének alapelvei a tervezés magasszintű, meghatározó elemei.

14.6.1. Tervezési alapelvek

A nukleáris létesítmények nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszereit, rendszerelemeit úgy kell megtervezni, hogy a nukleáris létesítmények alkalmazásával összefüggő általános sugárvédelmi célkitűzés, valamint az azt megalapozó

- műszaki biztonsági
- sugárvédelmi

célkitűzések megvalósíthatóak legyenek (1/2022. (IV. 29.) OAH rend. 6. § alapján).

Az atomerőművi rendszerek tervezésénél a nukleáris és a sugárvédelmi követelmények kielégítéséről kell gondoskodnunk. Ez a felosztás az alapelvek, célkitűzések szintjétől a tervezési módszerek alkalmazásán keresztül, a teljes folyamat során érvényesül.

Nukleáris biztonsági célok

általános nukleáris biztonsági célkitűzés

hogy a lakosság egyedei és csoportjai, valamint a környezet védelme biztosított legyen az ionizáló sugárzás veszélyével szemben.

sugárvédelmi célkitűzés

hogy a nukleáris létesítmény életciklusának valamennyi szakaszában a munkavállalók és a lakosság sugárterhelése mindenkor az előírt határértékek alatti, az észszerűen elérhető legalacsonyabb szintű legyen.

műszaki biztonsági célkitűzés

hogy az üzemzavari események bekövetkezése nagy biztonsággal megelőzhető, vagy megakadályozható legyen, a nukleáris létesítmény tervezésénél figyelembe vett valamennyi feltételezett kezdeti esemény esetén a lehetséges következmények az elfogadható mértéken belül maradjanak, valamint a balesetek valószínűsége kellően alacsony legyen.

A Nukleáris Biztonsági Szabályzatok az utóbbi három célkitűzésen alapuló követelményrendszert foglalják magukba (N3a.12.3.1.2.1).

A célokat úgy kell elérni, hogy a szükségesnél nagyobb mértékben ne korlátozódjon a nukleáris létesítmények működése.

A sugárvédelem alapelvei

Az ionizáló sugárzások elleni védekezés célja az, hogy

- a determinisztikus hatások fellépését elkerüljük,
- a sztochasztikus hatások előfordulását pedig az észszerűen elérhető legkisebb értéken tartjuk.

Fentiek biztosítása érdekében a tervezési folyamatban az alábbiakat kell érvényesíteni:

indokoltság (Sv-17, A3)

bármilyen sugárhatással járó tevékenységet vezetünk be, annak indokoltnak

kell lennie, azaz igazolnunk kell, hogy a tevékenység bevezetése – társadalmi, vagy egyénre vetített szinten – több haszonnal, mint kárral jár.

korlátozás (Sv-17, A3)

olyan korlátok, amelyek tervezetten semmilyen körülmények között nem léphetők túl. Ezek a korlátok alapvetően három csoportba oszthatók:

- egyes tevékenységeket tiltó korlátok,
- lakosság sugárterhelésének korlátjai és a
- foglalkozászszerűen sugárzásnak kitett dolgozókra vonatkozó dóziskorlátok

optimálás (Sv-17, A3)

a sugárvédelem optimálását azzal a céllal kell elvégezni, hogy a személyi dózisok nagysága, a sugárterhelés valószínűsége és a sugárterhelésnek kitett személyek száma az észszerűen elérhető legkisebb legyen

Az optimálás céljaként megfogalmazható az

észszerűen elérhető legalacsonyabb szint (Atv. 2. § 26.).

a tudományos, technikai, gazdasági és társadalmi adottságok figyelembevételével kialakított, a nemzetközi elvárásokkal összhangban lévő legkisebb érték

14.6.2. Tervezési elvek

A tervezési elvek a tervező napi munkáját közvetlenül meghatározó iránymutatásul szolgálnak.

A **műszaki biztonsági célkitűzés** elérését szolgálja a mélységben tagolt védelem elve.

mélységben tagolt védelem – DiD, defense in depth (NBSZ 10.119.)
többszintű védelem, ami a

- nukleáris biztonság érdekében alkalmazott elvek,
- intézkedések és
- műszaki megoldások

olyan egymásra épülő rendszere, amely garantálja a nukleáris biztonság elvárt szintjének megvalósulását; fizikai szinten ennek lényeges összetevője a többszörös gátak rendszere.

Az **optimálás alapelvét** (sugárvédelmi célkitűzés elérését) az **ALARA** elv fejezi ki.

ALARA elv (észszerűen elérhető legalacsonyabb szint elve) - as low as reasonably achievable (NBSZ 10. 5.)

bármely sugárforrást alkalmazó tevékenység esetében - kivéve az orvosi terápiás besugárzást - a védelmet és biztonságot optimalni kell annak érdekében, hogy

- az egyéni dózisok nagysága,
- a sugárzásnak kitett személyek száma és
- a sugárterhelés valószínűsége

az észszerűen elérhető legalacsonyabb szinten maradjon - tekintettel a gazdasági és társadalmi tényezőkre - az egyéni dóziskorlátokon belül, figyelembe véve a forrásra vonatkozó dózismegszorításokat.

14.6.3. A mélységben tagolt védelem

A mélységben tagolt védelem elvét fontos tervezési elvnek tekintjük. Funkciói, összetevői és rendszerei alábbiak:

mélységben tagolt védelem funkciója (IAEA (2019))

a különböző eszközök és eljárások különböző szintjeinek hierarchikus kiépítése a

- várható üzemi események eszkalációjának megakadályozása, valamint a
- sugárforrás vagy radioaktív anyag, és a munkavállalók, a lakosság vagy a környezet között elhelyezkedő fizikai gátak hatékonyságának fenntartása érdekében,

normál üzemi állapotban és egyes gátak esetén, baleseti körülmények között.

A nukleáris létesítményben a mélységben tagolt védelem alkalmazásával (1/2022. (IV. 29.) OAH rend. 7. § (1))

- meg kell akadályozni a radioaktív anyag vagy sugárzás környezetbe kerülését, és
- biztosítani kell, hogy a meghibásodások vagy azok kombinációja eredményeként jelentős radioaktívanyag-kibocsátással járó balesetek csak kellően alacsony valószínűséggel következheszenek be.

A mélységben tagolt védelem (1/2022. (IV. 29.) OAH rend. 7. § (2)) biztosítja

a) a lehetséges emberi hibák vagy műszaki meghibásodások ellensúlyozását;

b) az egymásba ágyazott gátak hatékonyságának megőrzését; valamint

c) a lakosság és a környezet védelmét abban az esetben, ha a gátak hatékonysága csökkenne.

A mélységben tagolt védelem egyik eleme (14.3. és 14.4. ábra) a

fizikai gát (N3a.39.2.1)

a környezettől való elszigetelést szolgáló akadály.

A többszörös gátak rendszerén belül egyes konkrét gátak, szerkezetek, illetve bármely olyan szerkezet, amelynek szerepe az, hogy megakadályozza az általa (ténylegesen vagy potenciálisan) bezárt radioaktív közegek kijutását a gát környezetébe (N3a.1.2.1.alapján).

A tervezés során többszörös fizikai gátakat kell alkalmazni a radioaktív anyagok környezetbe történő ellenőrizetlen kikerülésének megakadályozására (3a.2.1.1500).

A mélységben tagolt védelem elvének alkalmazása érdekében az alábbi négy fizikai gátat kell megkülönböztetni (3a.2.1.1600):

- a) az üzemanyag-mátrix;
- b) a fűtőelem burkolata;
- c) a reaktor primer körének határa;
- d) a konténment rendszer.



14.3. ábra: A fizikai gátak rendszerének szemléltetése

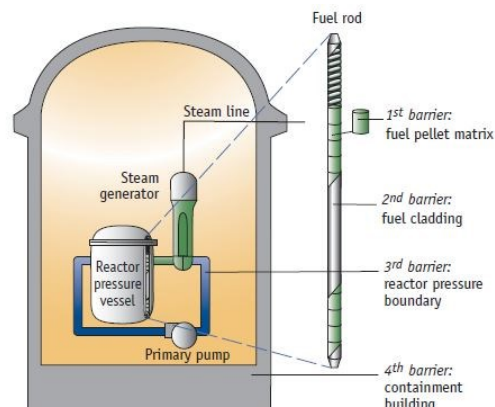
mélységben tagolt védelem legfontosabb összetevői (1/2022. (IV. 29.) OAH rend. 7. § (4))

- a) kellő biztonsági tartalékokat alkalmazó tervezési megoldások (beleértve a megfelelő telephely kiválasztást, diverzitást és redundanciát, valamint kipróbált, nagy megbízhatóságú technológiák és anyagok alkalmazását), magas színvonalú létesítés és üzemeltetés;
- b) szabályozó, korlátozó és védelmi rendszerek és vizsgálati-monitorozási megoldások, valamint az üzemeltetést szabályozó dokumentumok alkalmazása;
- c) a tervezési alapba tartozó események kezelését biztosító biztonsági rendszerek, üzemzavar-elhárítási utasítások és képzések;
- d) kiegészítő intézkedések, eszközök és balesetkezelési útmutatók alkalmazása, továbbá gyakorlatok szervezése; valamint

e) felkészülés a telephelyen belüli és kívüli nukleárisbaleset-elhárítási tevékenységek végrehajtására.

mélységben tagolt védelem rendszerei

14.4. ábra: A radioaktív anyagok bezárását szolgáló tipikus mérnöki (fizikai) gátak (OECD-NEA (2003) Fig. 5.2)



14.5. ábra: Fizikai gátak és védelmi alapelvek, a mélységben tagolt védelem szintjei közötti kapcsolat (IAEA (1999) Fig. 4.; N3a.35 (2019) 3.1 alapján)

14.6.4. Biztonságos rendszerek tervezési és elemzési alapelvei

A tervezési folyamatban figyelembe veszik a biztonságot megalapozó tervezési elveket és elemzési módszereket:

fokozatosság elve - graded approach (Atv. 2. § 51.)

rendszerek, folyamatok és módszerek terén az irányítás alóli kikerülés

kockázatával, valószínűségével és lehetséges következményeivel arányos mértékű intézkedések és feltételek alkalmazása.

A biztonsági relevancia szerinti fokozatosság elvének alkalmazását az ABOS, az atomerőművi biztonsági osztályba sorolás teszi lehetővé. Ez határozza meg részletesen a differenciált funkcionális követelményeket.

Az elemzések során alkalmazott megközelítés a

konzervatív elemzés

a determinisztikus elemzéseknek olyan módszere, amikor mind a modellnek, mind a kiinduló adatoknak van bizonytalansága, pontatlansága, és az elemzés kiinduló adataiban, feltételeiben és a modellben olyan feltételezéseket tesznek, amelyek az eredményeket úgy torzítják, hogy azok kedvezőtlenebbé válnak a bizonyítandó kritériumok szempontjából (NBSZ 10. 101.).

Az üzemzavar elemzés módszerei különböző szintű konzervatizmus figyelembevételére adnak lehetőséget (N3.32.6.1.)

A TA kategóriába tartozó elemzések módszerei konzervatizmus csökkenő sorrendjében a

- nagyon konzervatív
- reálisan konzervatív
- bizonytalanságelemzéssel kiegészített, legjobb becsléses módszer (BEPU, Best Estimate Plus Uncertainty)

A TAK-kategóriába tartozó üzemállapotok elemzésére alkalmazhatók

- tisztán legjobb becslésű elemzési eljárások

A szabályok szerint, azaz a szabványokat követő tervezés konzervatív ([18] 3.4.1).

Az elemzés egy eljárása a

legjobb becslés módszere (NBSZ 10. 111.)

a determinisztikus elemzések olyan módszere, amikor az elemzés kezdeti és peremfeltételeit úgy választják meg, hogy azok a vizsgálandó kritérium szempontjából legkedvezőtlenebb, de reálisan bekövetkező állapotnak felelnek meg.

Az eljárás a tervezési alap kiterjesztéséhez tartozó üzemzavarok elemzéséhez használatos, realisztikus megközelítéssel (a paraméterek konzervatív szélsőértékei helyett).

14.6.5. Biztonsági rendszerek tervezési elvei

A biztonsági eszközök, ezen belül a biztonsági rendszerek jelentőségét nem lehet eléggé hangsúlyozni. Itt rövid meghatározását idézzük, további részleteket a függelékben közlünk.

biztonsági rendszer (NBSZ 10.30.)

a nukleáris létesítmények biztonság szempontjából fontos rendszerei közül azok, amelyeket részben vagy kizárólag olyan funkciók teljesítése céljából terveztek és építettek be, amely funkciók csak valamely kezdeti eseményt követően válnak szükségessé, és a biztonság fenntartását, helyreállítását, valamint a nemkívánatos folyamatok következményeinek enyhítését célozzák.

Tervezésükre, kivitelezésükre és megbízható működésükre irányadó alapelvek az alábbiak:

diverzitás (NBSZ 10. 41.)

olyan rendszerek vagy rendszerelemek alkalmazása, amelyek ugyanazon funkció teljesítését látják el, azonban e szempontból valamely fontos paraméter, így különösen működési elv, kialakítás, elrendezés, gyártó tekintetében eltérnek egymástól, csökkentve ezzel a közös okú vagy azonos módon történő meghibásodások előfordulásának valószínűségét.

függetlenség (3a.3.1.0100, NBSZ 10.153.)

rendszerek, rendszerelemek függetlensége a rendszerek, rendszerelemek olyan állapota, jellemzője, melynek következtében az egyes rendszerek, rendszerelemek nincsenek egymásra hatással, azaz valamely rendszer, rendszerelem működése vagy meghibásodása nem befolyásolja valamely más rendszer, rendszerelem állapotát, működését és jellemzőit.

A függetlenség azt is jelenti (N3a.12.3.2.5.2.), hogy a normál üzemi rendszerek villamos energiaellátása (és más esetleg szükséges energiaellátása, pl. sűrített levegő, üzemanyag stb.), vezérlése, mérőrendszerei függetlennek kell, hogy legyenek a biztonsági rendszerek hasonló célú ellátó rendszereitől.

Általánosságban, a függetlenség követelménye, a mélységben tagolt védelem szintjeinek függetlenségével kapcsolatos.

Gyakorlati megvalósítása az alábbiak szerint történhet:

- fizikai elválasztás (NBSZ 10. 60.)
Rendszerek, rendszerelemek megfelelő geometria, távolság, tájolás kiválasztásával, megfelelő gátak alkalmazásával, vagy ezek

kombinációjával történő elválasztása.

- funkcionális elkülönítés (NBSZ 10. 63.)
Két csatlakozó rendszer vagy részrendszer olyan kialakítása, hogy az egyik meghibásodása ne terjedhessen át a másik rendszerre.

Számítógépes rendszerekre meghatározott követelmény a hibatűrés:

- hibatűrés -fault tolerance
a számítógéprendszernek az a képessége, hogy bármely hardver- vagy szoftver összetevőjének zavara után emberi beavatkozás nélkül folytatni tudja a működést a szolgáltatások olyan szintjén, amely adott időn belül biztosítja a működés folyamatosságát, az adatok integritását és a szolgáltatás helyreállítását (1183/2007/EK (2007. szeptember 18.) A Tanács rendelete).

redundancia (NBSZ 10. 150. alapján)

fontos tervezési elv. Egy adott funkció teljesítéséhez több, ugyanazt a funkciót ellátó, azonos vagy diverz (különböző) működési elvű és felépítésű rendszer, vagy rendszerelem alkalmazása annak érdekében, hogy egyszeres meghibásodás feltételezése esetén a funkció ellátása biztosítható legyen.

14.7. Tervezési módszerek

A tervezési követelmények széles körének igazolása a tervezési célnak megfelelő terjedelmű és típusú tervezési folyamat lefolytatását igényli.

tervezési célok

tervezési tevékenységek és a döntések szándéka.

A kívánt cél elérését a tervezési módszerek alkalmazása biztosítja.

tervezési módszerek ([9] alapján).

a tervezési folyamatban használható konkrét eljárások, hagyományos és számítógépes segédletek, eszközök és támogató rendszerek.

Az atomerőművi tervezés során a gyakorlatban alkalmazott tervezési módszerek között figyelembe vehetők az általános célú létesítmények tervezési módszerei (Wikipedia alapján):

- gyártásra tervezés design for fabrication , DfF
- szerelésre tervezés design for maintainability, DfM

- (nukleáris) biztonságra tervezés safety by design
- védelemre security by design, SeBD
- (biztosítéki szempontú) tervezés
- leszerelésre tervezés design for decommissioning (DfD)
- környezetvédelemre tervezés design for the environment, DFE
- költség alapú tervezés design to cost
- karbantartásra tervezés desing for maintenance, DfM
- megbízhatóságra tervezés reliability based design, RBD
- vizsgálatra tervezés design for inspection, DfI
- hibamód és hibahatás elemzés failure modes and failure effect analysis, FMEA
- véges elem módszer finite-element method, FEM
- hibafa elemzés fault tree analysis, FTA
- számítógéppel segített tervezés computer-aided design, CAD
- valószínűségi kockázatértékelés probabilistic risk assessment, PRA
- amely hibamód és hibahatás elemzést a hibafa elemzéssel kombinálja

A tervezési módszerek általános és szakterületre érvényes részleteket egyaránt tartalmazhatnak.

14.8. Alapvető normatív dokumentumok

A szabályozás általában és jellemzően a felhatalmazott szervezet által kiadott jogszabályi előírásokat jelenti, amelyeket a téma szakértői dolgoztak ki az elsődleges jog érvényesítése érdekében.

A törvények általános politikai célkitűzéseket tartalmaznak, az alapvető intézményi szabályokat és felelősségeket hozzárendelik az érintett szereplőkhöz, beleértve a szabályozó és más intézményeket.

A műszaki tartalmú jogi szabályozást u.n. alkotmányos eszközök, miniszteri-, illetve kormányrendeletek alkalmazásával vezetik be a jogrendszerbe.

A szabályozási dokumentumok általános tagozódása

- Törvények
- Rendeletek
- Kormányrendeletek
- Országos Atomenergia Hivatal (OAH) rendeletei
- Európai Unió szabályozási dokumentumai
- Miniszteri rendeletek és egyéb jogszabályok, dokumentumok

Érvényességi területek alapján megkülönböztethetünk

- Általános célú és ipari létesítmények
- Nukleáris szakmai terület
 - Atomtörvény
 - OAH, Országos Atomenergia Hivatal rendeletei
 - NBSZ, Nukleáris Biztonsági Szabályzat

Műszaki tartalmú jogszabály hivatkozhat olyan nemzeti szabványra, amelynek alkalmazásával az adott jogszabály vonatkozó követelményei is teljesülnek. A szabvány tehát nem szabályozási dokumentum, alkalmazása az Európai Unióban általában nem kötelező, fenti értelmezése azonban erősen motiválja felhasználását.

Számunkra kiemelt jelentőségű az Országos Atomenergia Hivatal rendelete mellékleteként kiadott NBSZ, Nukleáris Biztonsági Szabályzat és az ehhez kapcsolódó útmutatók sorozata.

NAÜ, Nemzetközi Atomenergia Ügynökség megfelelő szintű/tartalmú kiadványai szabványnak tekinthetők, alkalmazásukra a (külföldi) szabványokra vonatkozó előírások érvényesek. Itt jegyezzük meg, hogy a NAÜ magas szintű, szabályozási célú dokumentumai számunkra szükséges tartalmát, ennek átvételével, a nemzetközi nukleáris jog intézménye keretén belül, a hazai jogi szabályozás tartalmazza.

NAÜ biztonsági szabványai a 14.6. ábra szerinti tagozódásában felül az alapelvet, alatta a követelményeket tartalmazó kiadványokat láthatjuk, alattuk pedig az útmutatók sorozatát.



14.6. ábra: *Biztonsági szabványok struktúrája - NAÜ*

A biztonság kérdése első helyen áll, az ezzel kapcsolatos NAÜ szabványok listája elérhető (IAEA (2018)).

A hazai gyakorlat nukleáris szabályozási dokumentumai fenti felsorolásnak megfelelő, jelenleg hatályos fő elemeit a függelék tartalmazza.

14.9.A tervezési folyamat dokumentumai

A nukleáris projekt tervezést meghatározó, legfontosabb dokumentumai az atomerőmű vagy egyes rendszerei tervezési folyamatának elején készülnek. A dokumentumok szerepe/hatóköre eltérő. Vonatkozhatnak a nukleáris projekt egészére, vagy az aktuális projektfeladatra. Adattartalmuk alapján a tervezés kiinduló forrásai, meghatározzák továbbá a tervezési folyamat, a készítendő dokumentációk körét, részleteit.

A tervezési kézikönyv a projekt egészére érvényes meghatározásokat tartalmaz.

tervezési kézikönyv (NBSZ 10. 170.)

a magyar jogszabályok és a nukleáris biztonsági hatósági előírások figyelembevételével készült, az engedélyes irányítási rendszerének részét képező, a tervezésben résztvevők felelősségét és hatáskörét leíró, a tervezési folyamatot szabályozó dokumentum.

A tervezési alap dokumentuma készülhet az egész nukleáris projekt, vagy az egyes alprojektek terjedelmére vonatkozóan.

tervezési alap (NBSZ 10. 168.)

a nukleáris létesítménynek és rendszereinek, rendszerelemeinek azon jellemzői, valamint a rendszerek, rendszerelemek által ellátni szükséges funkciók, amelyek megléte szükséges a feltételezett kezdeti események ellenőrzött kezeléséhez, a meghatározott sugárvédelmi követelmények kielégítése mellett.

A módszertani kritérium dokumentum és minőségbiztosítási terv hatókörére ugyanez érvényes.

módszertani és kritérium dokumentum

- meghatározza a tervezés során használandó módszereket
- tartalmazza a számítások, tervek elfogadási kritériumait

kritérium (4.4.2. alapján)

a döntések vagy ítéletek megalapozására szolgáló feltételek. A kvantitatív vagy kvalitatív jellegű megállapításokat megalapozott elvekből és szabványokból származtatják.

minőségbiztosítási terv

a projekt megvalósításához szükséges és a minőségirányítással összefüggő vezetési elveket és eljárásrendeket részletezi.

A tervezési specifikáció jellemzően a technológiai tervezési folyamatban készül a tervezők feladatainak meghatározására.

tervezési specifikáció (NBSZ 10. 171.)

a rendszerek és rendszerelemek tervezésével szemben támasztott követelményeket összefoglaló dokumentum, mely tartalmazza a műszaki jellemzőket, normatív dokumentumokat, valamint az általános műszaki követelményeket.

A tervezési program az építész dokumentációk jogszabályban meghatározott kötelező része.

tervezési program (OTÉK 50 § (1))

olyan szöveges dokumentum, amely tartalmazza az építménnyel szemben előírt alapvető követelmények meghatározását, valamint a tervezési szerződés szerinti építtetői elvárások mennyiségi és minőségi részletezését.

A szakterületek tervezési tevékenységét, a készítendő dokumentációkat, fentiek és a szakterület szabályai/szokásai figyelembevételével kell kialakítani.

15. Irodalomjegyzék

Publikációk

- [1] Antal Z.; Kátai-Urbán L.; Vass Gy. (2018) Atomerőmű generációk fejlődésének vonzatai. Hadmérnök XIII. évf. 3. sz. p.: 150-
- [2] Bakacsi Gyula (2010) A szervezeti magatartás alapjai. Aula 2010. Corvinus Egyetem.
- [3] Bakos F. (2004) Idegen szavak és kifejezések szótára. Akadémiai Kiadó, Budapest. 723 p. ISBN: 963-05-7875-1.
- [4] Boros J. (2023) Az atomerőművi rendszerek és rendszerelemek tervezésénél figyelembe vett elvek összefoglalása. Gyakorlati útmutató. MMK Kiadványsorozata. FAP-2023/201-ENT.
- [5] Büki G. (2010) Megújuló energiák hasznosítása. Köztisztületi Stratégiai Programok. Magyar Tudományos Akadémia. 142 p. ISBN: 978-963-508-599-6.
- [6] Csanák E. (2019) Tervezélmélet. 1.-3. előadások. 47 p.
<https://dokument.pub/ql/tervezeselméletcsanakjegyzet1-32019-flipbook-pdf>,
[2021.11.15.].
- [7] Csom Gy. (2004) 4. Atomerőművek. Magyar Atomforum Egyesület. 59 p.
- [8] Csonka P. (1981) Héjszerkezetek. Akadémiai Kiadó, Budapest. 1039 p. ISBN: 963-05-2482-1.
- [9] Devgan, J. (2013) Managing nuclear projects. Woodhead Publ. Ltd. Cambridge. 358 p. ISBN: 978-0-85709-591-6.
- [10] Elter J., Gadó J., Holló E., Lux I. szerk. (2013) Atomreaktorok biztonsága. I.-II. kötet. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest. 749 p. ISBN: 978-963-312-180-1.
- [11] Evboumwan, N. F. O.; Sivaloganathan, S.; Jebb, A (1996) A survey of design philosophies, models, methods and systems. Proc. Inst. Mech. Engrs. Vol 210. p.: 301-319.
- [12] Faust D. (2011) Rendszertechnika. Szent István Egyetem. 144 p.
- [13] Fisher, R.; Moutenot, L. (2020) Roadmap to Operational Readiness. A new entrant's guide to preparing for the challenge of safe and efficient nuclear power plant operation. WANO. The New Unit Assistance Working Group. 339 p.

- [14] Gotcheva, N.; Oedewald, P. (2015) SafePhase: Safety culture challenges in design, construction, installation and commissioning phases of large nuclear power projects. 37 p. ISSN: 2000-0456.
- [15] Goldberg, S. M.; Rosner, R. (2011) Nuclear reactors: Generation to Generation. American Academy of Arts and sciences. 25 p. ISBN: 0-87724-090-6.
- [16] Gyökér I. (2002) Szervezeti viselkedés. Oktatási segédanyag. BME MBA. 68 p.
- [17] Haba P. (2016) Szerkezet, technológia, esztétika összefüggései a magyar ipari építészetben 1947–1970. I. Disszertáció. 158 p.
- [18] Katona T. (2015) Speciális tervezési követelmények. A biztonsági osztályba sorolt rendszerek tervezése. 43 p.
- [19] Kátai-Urbán L. szerk. (2013) Iparbiztonságtan. Nemzeti Közzolgálati és Tankönyvkiadó. Budapest. 564 p. ISBN: 978-615-5344-12-1.
- [20] Kian Manesh Rad, E. (2016) *Development of a project complexity assessment method for energy megaprojects. Thesis.* Heriot-Watt University, School of Energy, Geoscience, Infrastructures and Society. 244 p. <http://design.activeside.net/why-designers-should-seek-complexity>, [2019.09.03].
- [21] Kollár L. (1993) Műszaki tudomány-mérnöki közelítés. Akadémiai székfoglaló. Akadémiai Kiadó. 40 p. ISBN 963-05-6534-X
- [22] Laaksonen, J. (2013) VVER-type nuclear power plants and evolution of their safety. Meeting of Finnish Nuclear Society. Presentation. 56 p. https://ats-fns.fi/images/files/presentations/2013/ATS_jasentilaisuus_2013-3_laaksonen.pdf.
- [23] Leber F. (2020) Paks II. – A biztos jövő. Magyar Energia Szimpózium. Prezentáció.
- [24] Masterson R. E. (2017) Nuclear engineering fundamentals. A practical perspective. CRC Press, Taylor & Francis Group. Boca Raton, London, New York. 961 p. ISBN: 13-978-1-4822-2149-7.
- [25] Mistéth E. (2000) Méretezéselmélet. Akadémiai Kiadó, Budapest. 463 p. ISBN: 963-05-7778-X.
- [26] Móga I. (2023) Atomerőművi alapok. Alapfogalmak és összefüggések. MMK Nukleáris Tervezői Mesteriskola. I.-II. kötet. 181 p.

- [27] Móga I. (2019) Beruházási projektek szabályozási és szabvány környezete. Tervezési követelmények meghatározása. Magyar Mérnöki Kamara Kiadványsorozata 51. Energetikai Tagozat FAP-2019/205-ENT. 49 p.
- [28] Móga I. (2021) Atomerőmű. Multidiszciplináris mérnöki szótár. Magyar-országi angol. I.-II. kötet. 1010 p. ISBN: 978-615-01-1146-9.
- [29] Móga I. (2020) Háromnyelvű atomerőművi műszaki szótár készítésének terve. Nukleon, XIII. évf. 229. február, 7 p.
http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/13_1_229_Moga.pdf, [2020.04.04.].
- [30] Móga I. (2017) Az atomerőmű építés vállalkozói környezete. Magyar Energetika, XXIV. évf. 4. szám, 2017 augusztus, pp. 14-17.
- [31] Móga I. (2017) A nukleárisenergia-szektor sajátosságai. Mérnök Újság, XXIV. évf. 4. szám, 2017 április, pp. 21-23.
- [32] Móga I. (2015) Atomerőmű építés kompetenciái. Nukleon, VIII. évf. 180. 2015. április, <http://nuklearis.hu/nukleon/atomeromu-epites-kompetenciai>, [2016.06.21.].
- [33] Moore et al. (2016) Moore, J. H., Tcherter J., Naus, D. J., Puttonen, J., Bakirov, M., Móga, I. Ageing management of concrete structures in nuclear power plants, International Atomic Agency, Vienna, IEAE Nuclear Energy Series, No. NP-T-3.5., ISBN 978-92-0-102914-0., 355 p., <http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10659/Ageing-Management-of-Concrete-Structures-in-Nuclear-Power-Plants>, [2016.08.01.].
- [34] Pokorádi L. (2008) Rendszerek és folyamatok modellezése. Campus Kiadó, Debrecen. 242 p. ISBN 978-963-9822-06-1.
- [34] Rácz E. ((2019) Nukleáris Erőművek. Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar. Jegyzet. 280 p.
- [35] Weck, O. L. Fundamentals of System Engineering. Session 2. Requirements Definition. MIT-EPFL. Presentation. 52 p.
- [36] Zieldibis, P.; Noel, M. (2012) Application and selection of nuclear event investigation methods, tools and techniques. JRC Scientific and Technical Reports, Luxemburg. EUR 25243 EN – 2012. 58 p. ISBN: 978-92-79-23189-6.

Előadások prezentációi

[100] Boros I. (2022) Atomerőművek felépítése, működése. 6.1. előadás. Nukleáris Tervezői Mesteriskola. 44 p.

[101]] Boros I. (2023) Primerköri rendszerek. 6.2. előadás. Nukleáris Tervezői Mesteriskola. 66 p.

[102] Czifrus Sz. (2022) Reaktorfizikai és üzemtani alapok. 2.1. előadás. Nukleáris Tervezői Mesteriskola.

[103] Cserhádi A. (2022) A nukleáris energiaszektor sajátosságai. 1.3 előadás. Nukleáris Tervezői Mesteriskola. 26 p.

[104] Cserhádi A. (2022) Reaktor típusok. 3.1. Előadás. Nukleáris Tervezői Mesteriskola. 26 p.

[105] Izsó L. (2022) Ember- gép-kapcsolat. 7.6.2. előadás. Nukleáris Tervezői Mesteriskola.

[106] Móga I. (2023) Atomerőművi alapok. Nukleáris Tervezői Mesteriskola. 1.1. előadás. 78 p.

[107] Móga I. (2023) Atomerőművi és infrastrukturális építmények. 6.8. előadás. Nukleáris Tervezői Mesteriskola. Előadás. 78 p.

[108] Móga I. (2023) Mérnöki tevékenység. Nukleáris Tervezői Mesteriskola. 10.2. előadás. 48 p.

[109] Nyisztor D. (2023) Nukleáris s Radiológiai Esemény Skála (INES). Nukleáris Tervezői Mesteriskola. 3.14.2. előadás. 28 p.

[110] Szieberth M. (2023) Nukleáris üzemanyagciklus. 2.4. előadás. Nukleáris Tervezői Mesteriskola. 85 p.

Intézményi-szervezeti anyagok

ANS (2019) Glossary of definitions and terminology. American Standard Glossary. American Nuclear Society. 197 p.

CECA (2016) Infrastructure Horizons: Nuclear. A practical guide for contractors seeking to enter the nuclear civil engineering sector. Civil Engineering Contractors Association, UK. 52 p.

DoD (2022) Systems Engineering Guidebook Department of Defense. Defense Pentagon Washington, D.C..231 p.

FIB (2001) State of the Art - Concrete Containments, Detailed Information on Some Typical Recent Containments, Annex 2, Detailed presentation of several typical recent containment.

INCOSE (2023) Systems Engineering Vision 2035, Engineering solutions for a better world. International Council on Systems Engineering, San Diego, 64 p.

INCOSE (2020) Systems Engineering and System Definition, INCOSE-TP-2020-002-06, Version 1.0, 08 January 2019. International Council on Systems Engineering, San Diego, USA. 17 p.

INCOSE (2006) System engineering handbook. Guide for system life cycle process and activities. Version 3. INCOSE-TP-2003-002-03. INCOSE International Council on Systems Engineering. 185 p.

NASA (2016) System Engineering Handbook. NASA SP-2016-6105, Rev 2. NASA, Washington. 287 p.

NEA (2020) Unlocking Reductions in the Construction Costs of Nuclear: A Practical Guide for Stakeholders. Nuclear Technology Development and Economics. NEA No. 7530. Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. Paris. 130 p.

NEI AP-940 (2005) Nuclear Asset Management (NAM) Toolkit, Definition and Industry Survey. Electric Power Research Institute. Palo Alto, California.

NUREG (2017) Glossary of Security Terms for Nuclear Power Reactors. NUREG-2203. U.S. NRC, Nuclear Regulatory Commission. Washington, DC. 2017. 32 p.

SEBOK (2023) Guide to the System Engineering Body of Knowledge. Version 2.8, System Engineering Research Center-Stevens Institute of Technology, USA,1102 p.

SEBOK (2023B) Guide to the System Engineering Body of Knowledge. Glossary of Terms. https://sebokwiki.org/wiki/Category:Glossary_of_Terms

SEH (2015) System engineering handbook. Guide for system life cycle process and activities. Version 5. INCOSE, International Council on Systems Engineering. John Wiley & Sons. Inc. 309 p. ISBN: 978-1-118-99940-0.

UNECE (2020) Technology brief. Nuclear power. United Nations Economic Commission for Europe. United Nations, Geneva. 24 p.

VIT (2015) Conceptual model for safety requirements specification and management in nuclear power plants. VIT Technology 238. VTT Technical Research Centre of Finland Ltd. Espoo, Finland. 146 p. ISBN 978-951-38-8365-2.

VIT (2016) System engineering management plan template. V1. Research report. VTT-R-00153-16. VIT Technology 238. VTT Technical Research Centre of Finland Ltd. Tampere, Finland. 90 p.

A nukleáris szakmai terület szabályozási dokumentumai jegyzékét ld. Függelék.

Az alábbi felsorolás az útmutató témáihoz kapcsolódó főbb dokumentumokat tartalmazza.

Általános célú rendeletek

54/2014. (XII. 5.) BM rend. az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról.

Rendszertechnikai szabványok

ISO 13600:1997. Technical energy systems (visszavont).

ISO IEC IEEE 15026. Systems and software engineering — Systems and software assurance — Part 1: Concepts and vocabulary.

ISO/IEC/IEEE 15288:2023. System and Software Engineering – System life cycle process.

ISO/IEC/IEEE 21839:2019 Systems and software engineering — System of systems (SoS) considerations in life cycle stages of a system.

ISO/IEC/IEEE 24748-4:2016. Systems and software engineering — Life cycle management — Part 4: Systems engineering planning.

ISO IEC IEEE 42010:2022. Software, systems and enterprise — Architecture description.

Minőségirányítási alapszabványok

MSZ EN ISO 9000:2015. Minőségirányítási rendszerek. Alapok és szótár.

MSZ EN ISO 9001:2015. Minőségirányítási rendszerek. Követelmények (ISO 9001:2015).

Magyarul elérhető vagyongazdálkodási szabványok

MSZ ISO 55000:2015. Vagyongazdálkodás. Áttekintés, alapelvek és terminológia.

MSZ ISO 55001:2015. Vagyongazdálkodás. Irányítási rendszerek. Követelmények.

MSZ ISO 55002:2015. Vagyongazdálkodás. Irányítási rendszerek. Irányelvek az ISO 55001 alkalmazásához.

16. Függelék

16.1. Atomerőművi biztonság összetevői

Biztonság

biztonság - safety

a különböző veszélyforrásokkal szembeni (viszonylagos) védettség állapota.

nukleáris biztonság (Atv. 2. § 29.)

megfelelő üzemeltetési feltételek megvalósítása, balesetek megelőzése, illetve a balesetek következményeinek enyhítése a nukleáris létesítmény, valamint a radioaktív hulladék-tároló életciklusának valamennyi fázisában, amelyek eredményeként megvalósul a munkavállalóknak, a lakosságnak és a környezetnek a létesítmények ionizáló sugárzásából származó veszélyekkel szembeni védelme.

Sugárvédelem

biológiai védelem (NBSZ 10.18.)

ionizáló sugárzást árnyékoló, gyengítő fizikai gát, amelynek feladata a sugárforrások környezetében tartózkodó személyek sugárterhelésének csökkentése.

műszaki sugárvédelem (4.4.2.)

a műszaki sugárvédelem alatt kell érteni azon műszaki intézkedések összességét, amelyek

- arra irányulnak, hogy a nukleáris létesítményben munkát végzőknek, illetve a lakosságnak a létesítmény üzemeltetéséből származó sugárterhelése ne haladja meg a hatályos előírásokban meghatározott értéket, és
- melyekkel a sugárterhelés mindenkor az észszerűen legalacsonyabb szinten tartható, továbbá
- a radioaktív hulladék keletkezése a gyakorlatilag lehetséges legkisebb mértékű lesz.

A hatóság műszaki sugárvédelmi engedélyezési és ellenőrzési tevékenységének hatálya kiterjed:

- a) A nukleáris létesítmény működésével kapcsolatos azon berendezésekre, amelyek által keltett sugárzási tér, vagy amelyekből kijutó radioaktív anyag, mint forrástag potenciális vagy tényleges sugárveszélyt jelent a sugárzás-intenzitással és/vagy radioaktív anyag koncentrációval jellemzett térrel kapcsolatba kerülő élőlényre.
- b) A forrástag káros hatását korlátozó vagy csökkentő berendezésekre.
- c) A forrástag vagy azt magába foglaló térrész sugárzási viszonyairól információt szolgáltató berendezésekre.

Védettség

nukleáris védettség

- a) azon tevékenységek, eszközök és eljárások összessége, amelyek a nukleáris és más radioaktív anyagokkal és nukleáris létesítményekkel kapcsolatos szabotázs, szándékos károkozás, illetve jogtalan eltulajdonítás megelőzésére, észlelésére, elhárítására és következményeinek kezelésére irányulnak (FV-6.2.).
- b) azon tevékenységek, eszközök és eljárások összessége, amelyek a szabotázs, a nukleáris vagy más radioaktív anyaggal elkövetett, a Büntető Törvénykönyvről szóló 2012. évi C. törvény (a továbbiakban: Btk.) szerinti visszaélés, közveszélyokozás, környezetkárosítás, illetve jogtalan eltulajdonítás megelőzésére, észlelésére, elhárítására és következményeinek kezelésére irányul.

védelem - security [13] p: 22. alapján)

a reaktor üzemanyagának és az atomerőmű főbb komponenseinek ellenőrzése és védelme a beszerzés, építés, üzembe helyezés, üzemeltetés és leszerelés minden fázisában minden belső és külső fenyegetés ellen.

fizikai védelem

azon belső szabályozás, technikai eszköztár és élőerős elhárítás összessége, amely a nukleáris védettség részeként a nukleáris létesítményekkel, valamint nukleáris és más radioaktív anyagokkal szemben elkövetendő jogtalan eltulajdonítás és szabotázs elrettentésére, észlelésére, késleltetésére és elhárítására irányul.

fizikai védelem célja (190/2011. (IX. 19.) Korm. rend. 5. § és 7. §)

a fizikai védelmi rendszernek védelmet kell nyújtania

- nukleáris anyag, a radioaktív sugárforrás alkalmazása, tárolása és szállítása esetén, a
- radioaktív hulladék feldolgozása, tárolása és szállítása esetén a jogtalan eltulajdonítás és szabotázs ellen, továbbá védelmet kell nyújtania a
- radiológiai következmények szempontjából jelentős rendszerek és rendszereleme szabotázs ellen.

A védelmi célok teljesítésének, a négy védelmi szint alkalmazásának részleteit fent felsorolt anyagok kategóriákba sorolása határozza meg. A radiológiai következmények szempontjából jelentős rendszer és rendszerelem tekintetében a fenti anyagoknak megfelelő szintű fizikai védelmet kell biztosítani.

Biztosítékok

biztosítéki rendszer

- a nukleáris anyagok központi nyilvántartására kialakított nyilvántartásba vételi, felügyeleti (jelentéstételi és adatszolgáltatási), valamint helyszíni ellenőrzési rendszer.

Biztosítéki rendszerek

- nemzetközi (NAÜ),
- regionális (közösségi) (Európai Bizottság, Energiaügyi Főigazgatóság, E Igazgatóság – EURATOM Biztosítékok (European Commission, Directorate-General for Energy, Directorate E - EURATOM Safeguards, a továbbiakban: Európai Bizottság), és
- nemzeti szinten (OAH) kerültek kialakításra.

biztosítéki rendszer létesítésének célja (Sg2.3. alapján)

a nukleáris anyagok nem békés célú felhasználásának megelőzése vagy ezen szándék, azaz:

- a) a nukleáris anyagok nyílt vagy álcázott eltérítésének,
- b) a létesítménnyel, illetve annak technológiai folyamataival és berendezéseivel történő rejtett visszaélésnek,
- c) a nukleáris anyagokkal, illetve az ahhoz szükséges technológia előállítását célzó rejtett tevékenységek időben való felismerése.

Ipari biztonság

a személyzet életének és testi épségének védelme az üzemeltetési, karbantartási és támogatási feladatai elvégzése során az üzem és a telephely ipari környezetében ([13] p: 22. alapján).

Környezetbiztonság

a környezet védelme bármely, az atomerőmű működéséből származó ellenőrizetlen és túlzott mértékű légnemű, folyékony, vagy szilárd anyagok kibocsátása ellen. Az ilyen kibocsátások közé tartozik a vízelvezető utakba történő hőleadás is ([13] p: 22. alapján).

16.2.A nukleáris energetika jellemzői

A fejezetben összefoglaltuk a nukleáris szakterület jellemzői részleteit, illetve értelmezéseit.

16.2.1. A stratégiai ágazat jellemzői

A gazdaság stratégiai ágazatai azok, amelyek létfontosságúak egy ország nemzetbiztonsága, gazdasági stabilitása és általános jóléte szempontjából.

Néhány példa a stratégiai ágazatokra:

- Energetika
energiaforrások termelése, beszerzése, elosztása és felhasználása, mint az olaj, a gáz és a megújuló energia, atomenergia.
- Távközlés
kommunikációt és információmegosztást lehetővé tevő infrastruktúra és szolgáltatás, beleértve a telefon- és internetes szolgáltatásokat.
- Közlekedés
az az infrastruktúra és szolgáltatás, amelyek lehetővé teszik az emberek és áruk mozgását, beleértve az utakat, vasutakat és repülőtereket.
- Védelem
katonai felszerelések gyártása és karbantartása, valamint a katonai személyzet képzése.
- Bank és pénzügy
pénz- és hitelkezelő, -elosztó intézmények és rendszerek, beleértve a bankokat és a tőzsdéket

A stratégiai ágazatok listája az országtól és a társadalmi kontextustól függően eltérő lehet. Befolyásolja az adott ország bruttó hazai termékének (GDP) összetétele, az egyes ágazatok ehhez való hozzájárulásának százalékos aránya (súlya).

A stratégiai szektorokat a kormány általában szigorúan szabályozza, nagyon gyakori az állam gazdasági beavatkozása. A stratégiai ipari támogató politika magával vonja az egymást kiegészítő intézkedések körét a kereskedelemre, a befektetésekre, a gazdasági versenyre, a technológiára és általában az általánosabb keretpolitikára vonatkozóan.

A gazdasági terület kiemelése megjelenhet a kormányzat ideológiájában, kommunikációjában és főleg az államháztartásban, mivel ez finanszírozási többleteszközök biztosítását is jelenti. A stratégiai prioritás sok esetben a kormányzat szerkezeti felépítésében is megjelenik.

16.2.2. A biztonságkritikus iparág jellemzői

Biztonságkritikus iparág egy olyan, egyénekből, technológiából és szervezetekből álló rendszer, amelyben a biztonság kiemelt fontosságú, és ahol a meghibásodás lehetséges következménye életvesztés vagy súlyos sérülés, súlyos környezeti kár, üzemkárosodás vagy vagyoni kár

A biztonság szempontjából kritikus iparágak két kulcsfontosságú tulajdonsággal rendelkeznek:

- tömeges jelleg
abban az értelemben, hogy egy esetleges baleset potenciálisan nagyszámú ember halálával vagy sérülésével járhat
- veszélytől való félelem
félelem az ellenőrzésükön kívül eső veszélyektől, melyeknek vonakodnak kitenni magukat

Rendkívül biztonságos az az iparág, ahol a baleseti kockázat kisebb egynél, minden 100 000, vagy akár 1 millió biztosítási egységre vonatkozóan. Az ilyen biztonsági szintet elérő iparágak közé tartozik a nukleáris ipar, a menetrend szerinti polgári repülőgép járatok és a vasutak (Európában).

A biztonság elérésének és megtartásának közös eszköze a

- szigorú és részletes iparági szabályozás
- szabályozási elvek, megoldások egyeztetése, kölcsönös átvétele

16.2.3. Komplexitás

A komplexitásnak, számos vetülete miatt, nincs egyetlen definíciója, meghatározása a helyzet/nézőpont függvénye.

A komplex rendszerben (INCOSE (2020)) a kapcsolatok nem triviális jellege az egész rendszert nem determinisztikussá, kétértelművé vagy kaotikussá teszi (abban a matematikai értelemben, hogy a kezdeti feltételek nagyon kis változása nagyon nagy eredményváltozást eredményezhet), még akkor is, ha a rendszeren belüli egyes összefüggések jól ismertek.

Az így definiált komplexitás az értékelt rendszer sajátja.

Komplexitás keletkezik az érdeklődés tárgyát képező rendszert és az érdekelt feleket tartalmazó tágabb rendszerben is, ha a rendszer nem teljesen érthető, és ha a különböző érintettek részben eltérően értelmezik a rendszert és a többi érintett vonatkozásait. A rendszerteknikai megközelítés egyik fő célja, hogy csökkentse ezt az érzékelt komplexitást egy közös és érvényes modell létrehozásával. Rendszerteknikai definícióját ld. még a komplex rendszer meghatározásánál.

Számos kutató definíció helyett a komplexitás forrásai számbavételével határozza meg a fogalmat.

A komplexitás forrásai ([37])

- tervezés tárgyának komplexitása
- tervezési tér (modell) komplexitása
- járatlanság (a feladattal kapcsolatos tudásanyagban)
- multidiszciplináris integráció

Az energetikai megaprojektek új modellje (ld. következő pont) egy szélesebb és általánosabb rendező elvet adhat a komplexitás forrásainak áttekintésére ([20]). A projekt külső és belső komplexitás indikátorai (PCI) felhasználhatók a komplexitás forrásainak rendszerezésére és jellemzésére.

Más megközelítésben ld. még a komplexitás kategóriái és a komplexitás jellege meghatározásokat.

16.2.4. Minőség

minőségi kultúra (3a.2.1.0100.)

az engedélyesnek a tervezés összetett folyamatát szabályozó irányítási rendszert kell működtetnie, amely biztosítja a tervek minőségét, összhangját és a nukleáris biztonsági követelmények teljesülését.

minőségbiztosítás (NBSZ 10. 120.)

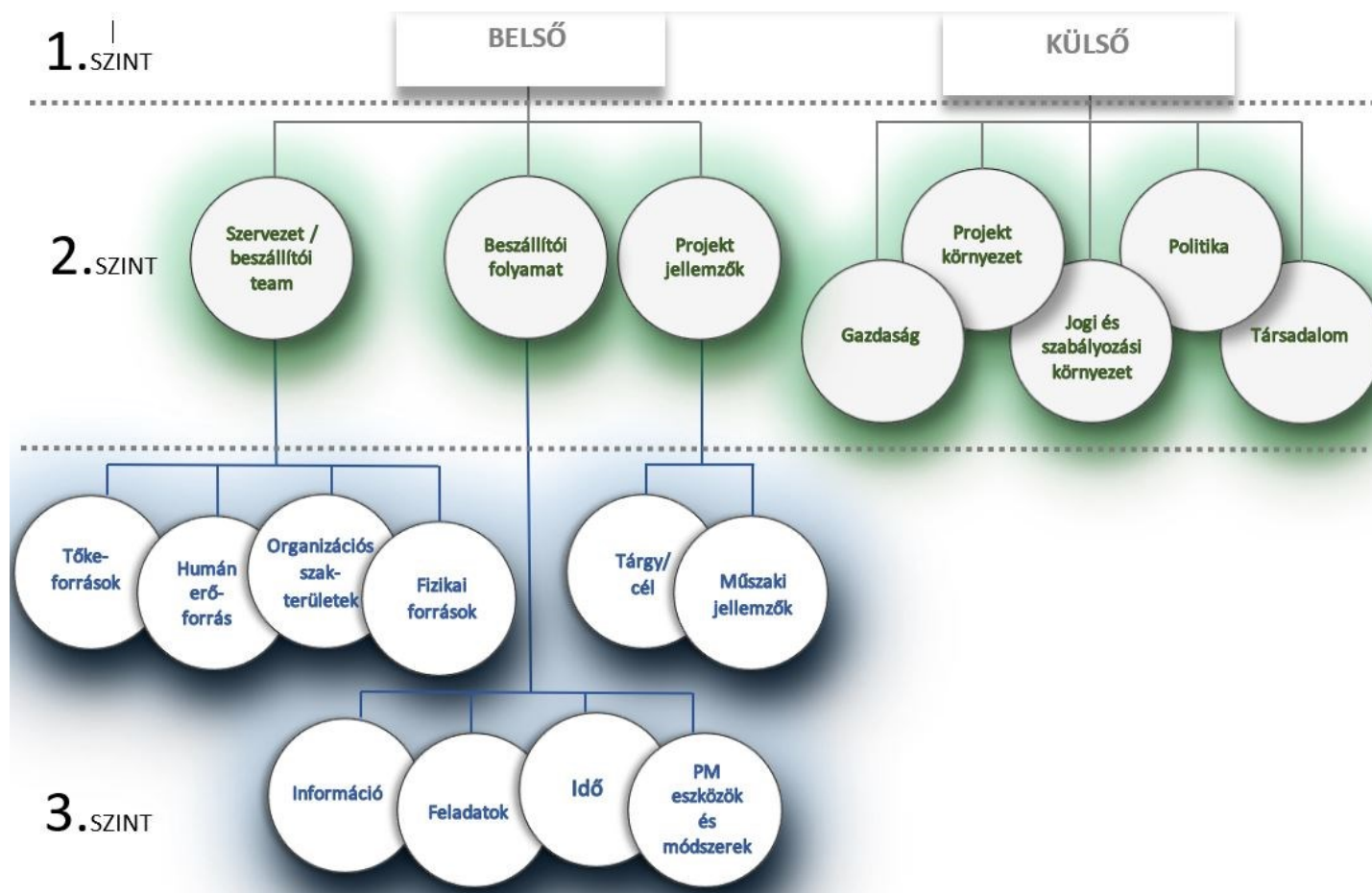
a minőségirányításnak (minőségmenedzsmentnek) az a része, amely a bizalom megteremtésére összpontosít a minőségkövetelmények teljesülése érdekében, azaz azon tervezett és szisztematikus intézkedések, amelyek szükségesek annak biztosításához, hogy egy rendszer vagy rendszerelem kielégítően működjön.

minőségmenedzsment – QMS, quality management system

valamely szervezet vezetésére és felügyeletére vonatkozó összehangolt tevékenység, amelynek a középpontjában a minőség áll. Meghatározza a minőségpolitikát, a minőségre vonatkozó célkitűzéseket és az ezek megvalósításához szükséges folyamatokat.

16.3. Energetikai megaprojekt

Az energetikai megaprojekt általános modelljében ([20]), a műszaki és projekt tulajdonságok mellett, helyet kaptak a társadalmi környezet általános, jogi, gazdasági tényezői. Az energetikai megaprojekt általános modellje alkalmazható a nukleáris projektek mellett a nukleáris energetika egészére vonatkozó jellemzők rendszerezésére, a komplexitás részletei és forrásai az energetikai megaprojekt általános modellje alapján kezelhetők. Az energetikai megaprojekt jellemzőinek hierarchikus ábráját (16.. ábra) a kutatási eredmények alapján állították össze, a nukleáris energetika, jelen tanulmányban tárgyalt jellemzői az ábra segítségével rendszerezhetők.



16.1. ábra: Energetikai megaprojekt jellemzői, struktúrája

([20] Fig. 5-3 és Fig. 5-4 alapján)

16.4. Rendszertechnika

A fejezetben az általános modellezés rendszertechnikai megközelítésének alapvető fogalmait az INCOSE (2020) alapján foglaljuk össze, az ettől eltérőket külön jelöljük.

16.4.1. Rendszertechnikai alapfogalmak

rendszertechnika, rendszermérnökség - systems engineering

- a) transzdiszciplináris és integráló megközelítés, amely rendszerelvek és -koncepciók, valamint tudományos, technológiai és menedzsment módszerek használatával lehetővé teszi a rendezett rendszerek sikeres megvalósítását, használatát és megszüntetését.
- b) alkalmazott rendszerelmélet, a rendszer szemlélet módszeres alkalmazása és érvényesítése ([12])

rendszer - system

- a) alkotórészek vagy alapelemek olyan elrendezése, melyben azok együttesen mutatnak olyan viselkedést vagy jelentést, melyet az egyes alkotóelemek nem.
- b) valamilyen szempontból egységet alkotó és egymással kölcsönhatásban álló elemek komplexuma ([13] 2. p.).

Fizikai vagy koncepcionális/fogalmi rendszerekről, vagy a kettő kombinációjáról beszélhetünk.

A fizikai rendszerek alkotóelemei az anyag és energia, megtestesíthetnek anyag-energia hordozókba kódolt információkat, viselkedésük megfigyelhető.

A koncepcionális rendszerek a tiszta információ elvont rendszerei, jelentésük van, viselkedést közvetlenül nem mutatnak. A koncepcionális rendszer egy tudásstruktúra, amely információ- és tudáselemekből áll. A rendszer elemei kapcsolatban állnak egymással, de nem lépnek kölcsönhatásba. Egy koncepcionális rendszer segíthet értelmezni a múlt, jelen vagy a várható jövő állapotát.

Egy koncepcionális rendszer csak addig létezik, amíg az otthont adó/fogadó anyag-/energiahordozó létezik, legyen az pl. számítógépes memória, könyv, kőtáblák, egy ötlet a biológiai tudatban vagy információ DNS-ben tárolva. Miután a fogalom utolsó feljegyzése, tudata vagy megőrzött mintája eltűnik, a fogalom megszűnik. Így a fogalmi rendszerek keletkeznek, fejlődnek és bomlanak, ellentétben a fizikai rendszerekkel.

Mindkét típusnál a rendszer tulajdonságai (mint egész) a következőket eredményezik, vagy ezekből származnak:

- alkotórészek vagy alapelemek, és egyedi tulajdonságaik;
- részek, a rendszer és környezete közötti kapcsolatok és kölcsönhatások

konstruktivista (származtató) szemlélet (rendszer, mint a valóság modellje) –
constructivist perspective

A rendszer fogalma az egyik eszköze annak, hogy gondolatainkat rendezni tudjuk arról, amit látunk, vagy megértünk, hogy a részek vagy elemek között milyen összefüggések és kölcsönhatások eredményeznek következményeket.

A konstruktivista szemléletben a rendszer nem olyan valami, ami a szemlélő elé tárul, hanem azt a megfigyelőnek fel kell ismernie. Ilyen esetekben a „rendszer” szó nem a valóságban létező dolgokra utal, hanem inkább arra az eszközre, melynek segítségével rendszerezünk gondolatainkat a valóságról és annak értelméről.

A konstruktivista megközelítés szerint rendszerek a valóságban nem léteznek az emberi gondolkodásmódtól függetlenül. A rendszer a bonyolult kölcsönhatások miatt nem érthető meg a részek elemzésével, célja vagy jelentése csak az egészben ismerhető fel.

Egy rendszer (ebből a szempontból) önmagában mindig a strukturális vagy funkcionális szempontok hangsúlyozásával választott absztrakció. Egy rendszer a változók halmazával reprezentált, amelyek szeparáltsága biztosítja, hogy hosszabb távon állandók maradjanak ahhoz, hogy a rendszert koherens egészként elemezzük.

16.4.2. Rendszertechnikai megközelítés

engineering

- műszaki tudomány
- mérnökség
- tudományos ismeretek gyakorlati problémákra való alkalmazása, vagy hasznos dolgok létrehozása. Ide tartoznak a hagyományos gépészet, elektrotechnika stb. ebben a meghatározásban
- a megvalósítás hozzáértő tevékenységei
INCOSE, <https://www.incose.org/about-systems-engineering/system-and-se-definition/systems-engineering-definition>

érdekeltség – concern ISO/IEC/IEEE 15288)

egy érdekelt fél számára érdekes vagy fontos ügy.

Megjegyzés: az érdekeltég a környezetében lévő rendszerre gyakorolt bármilyen hatásra vonatkozik, beleértve a fejlesztési, technológiai, üzleti, működési, szervezeti, politikai, gazdasági, jogi, szabályozási, etikai, ökológiai és társadalmi hatásokat.

integráló megközelítés - integrative approach

általában magában foglalja a hagyományos multidiszciplináris (több tudományág közös területét érintő) és interdiszciplináris (tudományágakat átfogó, szakmaközi) megközelítéseket.

Az integráló megközelítés önmagában is megfelelő lehet ott, ahol a helyzet nem túl bonyolult és kisebb a potenciálisan érintett érdekelt felek száma. A megközelítés alkalmazható a bonyolult előzményekkel rendelkező helyzetben is, alkalmazásával a megoldáshoz vezető út könnyen azonosítható és megérthető (ennek során azonban sok technikai és egyéb kihívás jelentkezhethet).

kétirányú nyomon követhetőség - bidirectional traceability (NASA (2016) 6.2)

egy adott követelmény/elvárás nyomon követésének képessége a szülő követelményekhez/elvárásokhoz és a hozzárendelt gyermek követelményekhez/elvárásokhoz.

nyomon követhetőség – traceability (NASA (2016) 6.2)

két vagy több logikai entitás, például követelmény, rendszerelem, verifikáció vagy feladat közötti felismerhető kapcsolat.

rendszerelmélet és - koncepció - systems principles and concepts

azok a módszerek, amelyekkel a rendszertechnikai szemlélet és a rendszertudományok felépítik a rendszereket. Példák néhány alapelvre, koncepcióra és támogató eszközre:

- mentális modellek
- rendszer archetípusok
- holisztikus gondolkodás
- kapcsolódások szétválasztása
- absztrakció
- modularitás és beágyazódás
- oksági hurok diagramok
- rendszerleképezés

rendszerek rendszere – SoS, system of systems (ISO/IEC/IEEE 2139.)

egyesített vagy együttműködő rendszerek csoportja, mely olyan egyedi képességet biztosít, amelyet a rendszerek egyike sem képes egyedül megvalósítani.

Megjegyzés: Minden egyes rendszer önmagában használatos rendszer, saját menedzsmenttel, célokkal és erőforrásokkal rendelkezik, de a SoS egyedi képességét a SoS-en belül koordinálják.

szolgáltatás - service

- a) egyének vagy szervezetek szükségleteinek kielégítése érdekében végzett tevékenységek
- b) személy által a köz vagy szervezet számára végzett munka, vagy részükre adott segítség.

A szolgáltatás kifejezést kezdetben olyan tevékenységek leírására alkalmazták, amelyek egyáltalán nem eredményeztek kézzelfogható termékeket. A termék és szolgáltatás közötti régi, két csoportra tagolható (dichotomikus) felosztást mára felváltotta a szolgáltatási szektor szolgáltatás-termék kontinuum megközelítése.

transzdiszciplináris (tudományágakat átfogó) **megközelítés** - transdisciplinary approach egy holisztikus megközelítés, mely megvalósításához számos diszciplináris határon átível.

A holisztikus megközelítés hangsúlyozása különbözteti meg a több tudományágat átívelő (cross-disciplinary) megközelítéstől, amely főleg a több tudományterületen való munkára összpontosít, miközben lehetővé teszi az egyes tudományágak számára saját módszereik és megközelítéseik alkalmazását.

A transzdiszciplináris megközelítés a társadalomtudományokból származik. Felülemelkedik az összes érintett tudományterületen, az erőfeszítéseket a közös cél, a megosztott megértés és az együtt tanulás köré szervezi, a valós problémák vagy témák kontextusában.

Bármilyen szinten használható, a komplextől az egyszerűig, a globálistól a személyesig. Transzdiszciplináris megközelítésre van szükség, ha a problémát nem lehet könnyen megoldani, és a legtöbb, amit valószínűleg el lehet érni, az a felbontás. Az erre való törekvésben részt vevőknek túl kell lépniük saját diszciplináris megközelítésükön, hogy valamilyen átfogó, hasznos kompromisszumra vagy szinergikus megértésre jussanak, amelyeket a tudományágak önmagukban nem érhetnek el (még akkor sem, ha normál integráló megközelítésben dolgoznak együtt más tudományterületekkel).

16.4.3. Rendezett rendszerek

rendezett rendszer - engineered system

olyan rendszer, amelyet úgy terveztek vagy alakítottak ki, hogy egy vagy több rendeltetési célját a várható működési környezettel kölcsönhatásban, a fennálló korlátozásoknak megfelelően, teljesítse.

A tervezett rendszereket termékek és szolgáltatások kombinációjaként fejlesztik, egy életcikluson belül (SEBOK (2023) p: 100).

A rendezett rendszer - nem szükségképpen technológiai rendszer - ennek megfelelően - olyan rendszer, melyet rendeztek vagy rendezni fognak. Tetszőleges vagy összes eleme, alkategóriái:

- személy
egyének, szerepek, szervezetek, szervezeti egységek, irányítási struktúrák stb.
- termék
hardware, software, firmware, adat, létesítmény stb.
- szolgáltatás
üzleti -, információ -, infrastruktúra szolgáltatás
- információ
egyedi információs tétel, információs kategória, információ struktúra, dokumentáció, tudáselem stb.
- folyamat
eljárás, módszertan, technika, munkautasítás, politika, direktíva stb.

16.4.4. Különleges rendszerek

bonyolult rendszer - complicated system

megismerhetőnek és determinisztikusnak tekinthető, konfigurációja, kidolgozása után, „befagyasztható”.

komplex rendszer - complex system

olyan rendszer, amelyben az ok és okozat között nem triviális összefüggések állnak fenn:

- mindegyik hatást több ok is okozhatja
- minden ok több hatáshoz is hozzájárulhat
- okok és következmények pozitív és negatív visszacsatolási hurokként kapcsolódnak egymáshoz
- ok-okozati láncok ciklikusak, és inkább összefonódtak, mint lineárisok és elválaszthatók.

A rendszer nem teljesen megismerhető vagy determinisztikus. Dinamikusan újra konfigurálható, életciklusa során továbbra is együtt alakul környezetével.

komplexitás kategóriák (SEBOK (2023) p: 146)

- szerkezeti
rendszerelemek és kapcsolatok
- dinamikus
rendszerek alkalmazása adott feladatokra egy környezetben (idő elem)
 - rendszer viselkedés (rövidtávú)
 - rendszerváltozás/alakulás (hosszabb távú)
- társadalmi-politikai
egyének vagy embercsoportok hatása
 - több érdekelt nézőpontja egy rendszerkontextuson belül, amit társadalmi vagy kulturális torzítások jellemeznek
 - az egyed vagy embercsoport „irracionális” viselkedése, akik egyénileg ésszerű módon viselkednek

komplexitás jellege (SEBOK (2023) p: 148)

- szervezetlen
alkotói lazán összekapcsolt, rendezetlen és egyforma elemek, amelyek bizonyos átlagos tulajdonságokkal, például hőmérséklettel vagy nyomással rendelkeznek
- szervezett
alkotói erősen összekapcsolódó, szervezett és eltérő elemek, amelyek bizonyos tulajdonságokkal és jelenségekkel rendelkeznek, mint például a gazdasági, politikai vagy társadalmi rendszerek

rendszerelemek sajátosságai/jellemzői (SEBOK (2023) p: 149.)

- függetlenség – independence
autonóm rendszerelemek, amelyek más elemektől származó információktól befolyásolva, saját alkalmazkodóképességi algoritmusukkal képesek saját döntéseket hozni.
- kapcsolat – interconnectedness
a rendszerelemek fizikai kapcsolaton, megosztott adatokon vagy egyszerűen vizuálisan kapcsolódnak egymáshoz, annak tudatában, hogy hol van a többi elem és mit csinál, például a liba sereg vagy a repülőszázad.
- diverzitás (sokféleség) - diversity
olyan rendszerelemek, amelyek technológiailag vagy funkcionálisan valamilyen szempontból különböznek egymástól. Például különböző alkalmazkodóképességi algoritmusokkal működnek.
- alkalmazkodóképesség – adaptability
önszerveződő rendszerelemek, amelyek, környezetükre reagálva, azt tehetik, amit akarnak, hogy fenntartsák magukat vagy a teljes rendszert.

16.4.5. Modellek

rendszer állapot

egy adott időpontban megfigyelt vagy mért jellemzők összessége.

rendszer struktúra

a rendszert alkotó elemek elrendezettsége, és az elemek közötti kapcsolatok, relációk

Fontosabb rendszerelméleti alapelvek

totalitás

rendszert, mint egészet az elemeihez viszonyítva elsődlegesnek tekinti

hierarchia

egyrészt az alrendszerek, az elemek hierarchikus elrendezettsége, ami az alkotók alá-, fölé-, és mellérendeltségében nyilvánul meg. Másrészt ebben az is kifejeződik, hogy minden rendszer beágyazódik egy nagyobb átfogó rendszerbe.

időbeliség, időbeli beágyazódás

minden rendszer, illetve rendszerprobléma a múltban gyökerezik. A jelenben megvalósult beavatkozások, megoldások kihatnak a jövőre.

Az elvből az következik, hogy a tervezésnél, fejlesztéseknél mindig a rendszerek teljes életszakaszát kell figyelembe venni. Az időbeli beágyazódás elve a rendszerek elemzési és fejlesztési folyamataiban megkerülhetetlen megközelítési mód, illetve rendezőelv.

rendszer leírás többszempontúságának elve

bonyolultságuk miatt a rendszerek részletesen csak többféle megközelítésben, többféle modellel írhatók le, illetve ismerhetők meg.

A komplex rendszerekről teljes képet és ismeretet csak nagyszámú, eltérő szempont alapján megalkotott modell segítségével nyerhetünk. Egy rendszer általában akkor tekinthető ismertnek, ha az

- egészként való működését
- belső struktúráját, és működését
- funkciójának megfelelő nagyobb rendszerbe való beágyazódását

is feltártuk, illetve leírtuk.

A kibernetika tudománya által feltárt egyik fontos alapelv, hogy a rendszerek hatékony működése, csak hatékony kommunikáció révén valósulhat meg.

ágens

olyan entitás, valami, ami autonóm módon cselekszik, vagy képes cselekedni, elvárt módon viselkedni, valami, ami mások helyett, mások megbízásából cselekszik.

- általánosan ágens
minden olyan működő, autonóm entitás, amelyik a dinamikusan változó környezetének jellemzőit érzékeli, értelmezi, és működését ehhez is igazítva hatást gyakorol a környezetére. A hatás jellege fizikai és kommunikációs lehet.
- multiágens – MAS, multi agent system
olyan autonóm, adaptív, az összetett célok és törekvések megvalósítása érdekében viselkedő, szervezetszerűen működő rendszer, amelynek alkotói saját céllal rendelkező, de a közös cél megvalósítására törekvő ágensek.

technológia

a) valamilyen termék vagy szolgáltatás előállítására szervezett, adaptív, irányított ember - eszköz rendszer, amely a

- vállalkozás alrendszere
- relációja van a makroszintű innovációs folyamatrendszerhez

b) egy sajátos rendszer, melynek alkotói az:

- ember, aki a célok, a módszerek, az információk, a tudás és a tapasztalatok hordozója vagy ezek dokumentumban rögzített formájának ismerője
- eszközök (gép, szoftver), amelyek az ember által működésbe hozva, célszerű változást eredményeznek a munkatárgyakon
- munkatárgyak, amelyeken, a produktum előállítás igényei szerint, hely- / helyzetváltozási, minőségváltozási, struktúraváltozási, illetve tárolási folyamatok történnek

létesítmény üzemeltetési (- menedzsment) rendszer

a létesítményhasználat és állagfenntartás folyamatait, mint alapfolyamatokat, és ezek közvetlen irányítását, valamint a hierarchia magasabb szintjén, az üzemeltetési rendszer irányítását foglalja magában.

A létesítmény használati folyamatban szereplő cél-objektumok alatt azokat az emberi tevékenységhez kapcsolódó folyamatokat kell érteni, amelyeket az adott épület, illetve létesítmény működésével szolgál, beleértve a működési tér biztosításának funkcióját is. A termeléssel vagy szolgáltatással foglalkozó cégeknél a cél-objektumok azok a termelő vagy szolgáltató folyamatok, amelyeknek a létesítmény helyet és működési feltételt biztosít.

Egy létesítménynek az üzemeltetési életszakaszára számított összköltsége a beruházási érték 8-10 szerese, esetenként még ennél is több. FM (Facility Menedzsment) rendszer bevezetésével a pénzügyi és a műszaki vonatkozású megtakarítások tehetik ki a legnagyobb hányadot. Az első elérheti a 35-40, a második akár a 40-50 százalékot is. A műszaki téren a karbantartások és felújítások optimális ütemezése és tervszerű lebonyolítása, valamint az energia megtakarítás képezik a legnagyobb tételt.

16.5. Atomerőmű fizikai eszközei

16.5.1. Vagyongazdálkodási alapfogalmak

cél – objective

a) az atomerőmű gazdasági értékének fenntartása, beleértve a tiszta energiatermelés biztonsági szintjét és előnyeit, továbbá, hogy ezt a társadalom és a piac elismerje (IEAE (2021), 8. alapján).

b) tulajdonos/üzemeltető a társadalom javára biztosítja a hatékony, kiszámítható, biztonságra fókuszáló szabályozási keretet, valamint a helyénvaló piaci, gazdasági, környezetvédelmi, illetve társadalmi feltételeket (IEAE (2021), 3.4.6. alapján).

c) elérendő eredmény

Megjegyzés: a célok különböző szakterületekhez kapcsolódhatnak (mint pénzügyi, egészségügyi és biztonsági, illetve környezeti célok) és különböző (így stratégiai, szervezeti, projekt, termék és folyamat) szinteken alkalmazhatók. (MSZ ISO 55000: 2015, 3.1.18.).

érték - value

a) az érték jellemzően egy eszköz (struktúra, rendszer, komponens, személy, folyamat) azon képességére utal, hogy előírt képességét az üzem teljes élettartama alatt biztosítja. A hangsúly tehát a hosszú távú értéken van, nem pedig a rövid távú költségeken.

Az értékmodell keretet ad a vagyonkezelés értékével kapcsolatos gondolkodás strukturálásához, és a szervezeti döntéshozatalt támogató modellek felépítésének alapját képezi. Az értékmodell a külső, közösségi/kormányzati és belső, szervezeti értékek képzésének szempontjait tartalmazza (IEAE (2021), 2.1. alapján).

b) az eszközök azért vannak, hogy értéket szolgáltatassanak a szervezet és érintettjei számára.

A vagyongazdálkodás nem magára az eszközre összpontosít, hanem arra az értékre, amelyet az eszköz adhat a szervezetnek. Az értéket (amely lehet tárgyi vagy eszmei, pénzbeli vagy nem pénzbeli) a szervezet céljaival összhangban a szervezet és érintettjei határozzák meg (MSZ ISO 55000: 2015, 2.4.2.).

Funkcionális (technológiai) csoportok

telephelyen belüli építménycsoportok

az önállóan működőképes energiatermelési blokkok elkülönítése. Egy telephelyen több atomerőművi blokk üzemelhet.

atomerőművi blokk (NBSZ 10. 11)

egy nukleáris energiát hőenergiává alakító atomreaktor a hozzá tartozó rendszerek és rendszerelemek összességével, amelyek a biztonságos villamosenergia-termeléshez szükségesek.

blokki rendszeren belüli építmények

(3+ generációs atomerőművek esetén)

- nukleáris sziget
- turbinasziget
- erőművi kiegészítő rendszerek (Balance of plant, BOP)

Több blokkos telephelyen, a gazdaságosságra való törekvés miatt, közösblokkli létesítmények kialakítására is sor kerülhet. A telephely infrastrukturális építményeinek döntő többsége közösblokkli létesítményként kerül megvalósításra

atomerőművi blokk technológiai rendszerei

- primer kör (N3.1.2.1)
az aktív zónát és az azt hűtő közeget tartalmazó nyomástartó rendszer a hozzájuk kapcsolódó csővezetékekkel a második elzáró illetve visszacsapó szelepig, ill. kifolyásgátlóig. Részei:
 - a) reaktortartály,
 - b) főkeringtető hurkok,
 - c) gőzfejlesztők primer kollektorai és hőátadó felülete,
 - d) térfogat-kompenzátor.

Működési jellemzők (Paks 2):

- üzemi nyomás: 154 bar
- Be/kilépő hőmérséklet: 296/327 °C
- 4 primer hurok

- szekunder kör

- a gőzfejlesztők tápvízoldali részét,
- a főgőzrendszert,
- a turbina nagy és kisnyomású elemeit,
- a kondenzátort és
- a tápvízrendszert magába foglaló rendszercsoport. Legfőbb feladata a termelt gőz energiájának átalakítása forgómozgássá, ami biztosítja a turbinák és a generátor meghajtását.

Működési jellemzők (Paks 2):

- Szekunder környomás: 78 bar
- Frissgőz-hőmérséklet: 290 °C
- 1 nagynyomású + 3 kisnyomású turbina ház

- Dupla falú hermetikus védőépület, nagy utasszállító repülőgép rázuhanására méretezve
- TA biztonsági rendszerek 4-szeres redundanciával

Rendszertechnikai alapú csoportok

létesítmény – facility (MSZ EN 15221-1 alapján)

eszközök összessége, amelyet egy entitás szükségleteinek kiszolgálására építettek, telepítettek vagy létesítettek.

eszköz (asset) olyan tétel, dolog vagy entitás, amely lehetséges vagy tényleges értéket jelent egy szervezet számára.

rendszer - system (Atv. 2. § 8.)

rendszerelemekből álló, adott funkció teljesítésére szolgáló egység.

rendszerelem – component (Atv. 2. § 9.)

a rendszer szerelési egységként is elhatárolható

- komponense
- részegysége
- önállóan kezelhető készüléke
- egy adott funkció megvalósításában önálló részfunkciót ellátó elem, így különösen
 - berendezés
 - műszer
 - csővezeték
 - építmény
 - épületszerkezet

RRE, Rendszerek, rendszerelemek (N3a.1.2.2)

megfelel az angol SSC (Structures, Systems and Components) rövidítésnek, tehát építészeti szerkezetekre is vonatkozik.

Nukleáris biztonsági szerep alapú csoportok

alapvető konstrukciós megoldások - design provisions (N3a.1.2.1)

olyan RRE (rendszer, rendszerelem), amelyet nem biztonsági célból, hanem elsősorban normál üzemi funkciók teljesítése érdekében terveztek és alkalmaznak az erőműben (pl. reaktortartály, primer kör elemei: gőzfejlesztő, főkeringtető szivattyú, gőzvezeték, fűtőelem-burkolat stb.), de sérülése vagy üzemzavara kihatással lehet a biztonságra.

A kategóriába egyaránt beletartoznak

- egyes fizikai gátak
- egyes passzív megoldások

biztonsági rendszer

a) a nukleáris létesítmények biztonság szempontjából fontos rendszerei közül azok, amelyeket részben vagy kizárólag olyan funkciók teljesítése céljából terveztek és építettek be, amely funkciók csak valamely kezdeti eseményt követően válnak szükségessé, és a biztonság fenntartását, helyreállítását, valamint a nemkívánatos folyamatok következményeinek enyhítését célozzák (NBSZ 10.30.).

b) tervezési alapon beazonosított események (TA) esetén biztosítják az alapvető biztonsági funkciók teljesítését.

Az egyes tervezési alap kiterjesztéseként beazonosított üzemállapotok (TAK) során lehetnek olyan helyzetek, amikor valamely biztonsági funkció nem teljesül, de helyreállítására vagy helyettesítésére eszközöket terveznek be (N3a.12.3.1.2.1. alapján).

Működési elvük alapján a biztonsági rendszerek két csoportja különíthető el, az

- aktív és a
- passzív biztonsági rendszerek.

A passzív rendszerek előnye, hogy működésükhöz nem igényelnek külső energiaforrást vagy vezérlést, funkciójuk teljesítését egyszerű fizikai folyamatok biztosítják. A maradványhő elvitelére pl. az aktív hűtőrendszerek mellett passzív rendszerek is létesülnek (N3a.12.2.1. és N3a.12.3.2.5.1. alapján).

nukleáris rendszer, rendszerelem (Atv. 2. § 10.)

nukleáris létesítményeknek és a radioaktív hulladék-tárolóknak a nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerei, rendszerelemei

nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszer és rendszerelem

az a rendszer és rendszerelem, amely

a) helytelen működése vagy meghibásodása a nukleáris létesítmény területén tartózkodó személyek, vagy a lakosság meg nem engedett sugárterhelését okozhatja, vagy

b) balesetmegelőző vagy következményenyhítő funkciót lát el, és meghibásodása lényeges hatással van a nukleáris biztonságra azáltal, hogy fellépése nukleáris biztonságot sértő folyamatot indít el, vagy azáltal, hogy fennállása csökkenti valamely normál üzemén kívüli folyamat tervezett kezelésének végrehajtási esélyét (Atv. 2. § 124. alapján).

radiológiai következmények szempontjából jelentős rendszer és rendszerelem (Atv. 2. § 39.).

azon, nukleáris anyag vagy más radioaktív anyag alkalmazásával, feldolgozásával és tárolásával összefüggő rendszerek és rendszerelemek, amelyek rongálása rendkívüli esemény bekövetkezésével jár vagy járhat

ABOS, Atomerőművi rendszerek és rendszerelemek Biztonsági Osztályba Sorolása

biztonsági osztályok (N3a.1.2.1 alapján)

az NBSZ által meghatározott kritériumok alapján, a rendszerekre és rendszerelemekre meghatározott négy szintű besorolás az első három szintje.

A biztonsági relevancia szerinti fokozatosság elvének alkalmazását az ABOS, az atomerőművi biztonsági osztályba sorolás alkalmazása teszi lehetővé.

biztonsági osztályokba sorolás alapvető célja (N3a.1.3.1. alapján)

a követelmények differenciálása a

- a tervezés, gyártás, beszerzés, szerelés, üzembe helyezés, üzemeltetés és karbantartás, valamint
- a hatósági követelmények előírása

területeken.

Az első céllal kapcsolatos követelményeket, lehetőség szerint, megfelelő szabványok beazonosításával kell meghatározni. Mérnöki gyakorlatra csak akkor lehet hivatkozni, ha alkalmazható szabványok nem léteznek.

A második céllal kapcsolatban az 1/2022. (IV. 29.) OAH rend. és NBSZ 1. kötete tartalmaz előírásokat.

A biztonsági funkcióval nem rendelkező rendszereket, rendszerelemeket az általános ipari gyakorlatnak megfelelően kell megtervezni.

Általános biztonsági szerep alapú csoportok

robbanásveszélyes tér (54/2014. (XII. 5.) BM rend. II. fej. 4. par. 208.)

egy vagy több robbanásveszélyes zóna által alkotott, beltéren vagy kültéren lévő, nyitott vagy zárt térrész.

tűzvédelmi osztály (54/2014. (XII. 5.) BM rend. II. fej. 4. par.180.)

az építőanyagok és építményszerkezetek tűzzel szembeni viselkedésére jellemző kategória, amit a vonatkozó műszaki követelmények szerinti vizsgálat alapján állapítanak meg.

tűzállósági teljesítmény (54/2014. (XII. 5.) BM rend. II. fej. 4. par.148.)

a vonatkozó műszaki követelménynek megfelelő tűzállósági vizsgálat kezdésétől számított, a vizsgált építményszerkezet valamely tűzállósági határállapotba kerülésének eléréséig eltelt idő órában vagy percben.

Működési időszak alapú besorolás csoportjai

folyamatos működésű rendszerelem (Katona T. (2015) 3.5.1)

a rendszer, rendszerelem megbízhatósága az a tulajdonság, hogy bizonyos ideig üzemképes, azaz az előírt üzemi körülmények között (villamos vagy mechanikai

terhelés, környezeti hőmérséklet, nedvesség stb.) kielégíti az előírt követelményeket.

stand-by működésű rendszerelem ([18])

működésére csak bizonyos körülmények között van szükség, ha indító parancsot kap.

Működési jelleg alapú besorolás csoportjai

aktív rendszerelem (NBSZ 10.1.)

biztonsági funkcióit mozgó alkatrészei, valamint alakja vagy tulajdonságai változtatása révén ellátó rendszerelem.

passzív rendszerelem (NBSZ 10.147.)

azon rendszerelemek, amelyek biztonsági funkcióikat mozgó alkatrészek, valamint alakjuk vagy tulajdonságaik változtatása nélkül látják el.

Ez a fajta csoportosítás szakmai megnevezéseinek jelentései nem azonosak a biztonsági rendszernél használt fogalmak jelentéseivel.

Rendszerelemek karbantartási munkái és a források felhasználásának csoportjai

Az élettartam menedzsment műszaki és gazdasági nézőpontjai (IAEA (2006), 3.2.2.2.)

1. kategória – nem cserélhető (pl. reaktortartály, konténment)
2. kategória – cserélhető, de költséges (pl. gőzfejlesztő)
3. kategória – biztonsági szempontból „kulcs” komponens, de szokásos munkamenetben cserélhető (pl. kábelek, irányítástechnika)
4. kategória – (minden más komponens) fenti kategóriákon kívüli, nem befolyásolja az atomerőmű élettartamát

Az érdekeltek (jogi) személye, szerepe szerinti csoportjai

A csoport elemeit a 9.2. ábra mutatja.

16.6. Atomerőművi építmények

16.1 táblázat: Az atomerőmű tipikus építményei

Építmény	Építmény alcsoport	KKS kód	Megnevezés	Denomination
Épület	Főépület	UJA	Reaktorépület	Reactor building
		UKA	Segédépület	Auxiliary building
		UJE	Technológiai kiszolgáló épület	Steam cell
		UKD	Biztonsági épület	Safety building
		UCB	Vezénylő épület	Control building
		URS	Tolózár szerelvényház	Switching chamber
		UKC	Nukleáris kiszolgáló épület	Nuclear service building
	Nukleáris üzemanyag tároló	UKT	Radioaktív hulladékkezelő és tároló	Radioactive waste processing and storage building
		UKT	Friss nukleáris üzemanyag és karbantartó berendezések tárolója	Storage of fresh nuclear fuel and storage transportation-and-handling

Dízelgenerátor épület	UBN	Blokki biztonsági dízelgenerátor épület	Unit diesel-generator set buildings with diesel fuel intermediate storage of power
	UBN	Szekunderköri dízelgenerátor épület	Unit Diesel-Generator Station Building of Turbine Island with Diesel Fuel Intermediate Storage
Szivattyúház	UQA	Turbina gépházi fogyasztók hűtővíz szivattyúállomás	Pumping station of the Turbine building consumers
	UQB	Víz kivételi mű szivattyúház	Pumping stations of the essential consumers
	UQC	Biztonsági hűtővíz-rendszer tartalék hőelvonójának szivattyúállomása	Standby pumping station of the essential consumers
	USG	Tűzoltórendszer szivattyúház	Water fire-fighting pumping station
	USG	Ivóvíz-hálózati szivattyúállomás	Pumping Station of Domestic-Drinking Water Supply
	UEL	Olaj és dízel üzemanyag szivattyúállomás	Oil and diesel fuel pumping station
Hűtőgépház	USI	Primerköri hűtőgépház	Nuclear island refrigerator building
	USI	Szekunderköri hűtőgépház	Turbine Island Refrigerator Building

	Technológiai épületek	UMA	Turbina épület	Turbine Building
		UBA	Normálüzemi villamosenergia-ellátás épülete	Normal Operation Power Supply Building
		UBA	Csúcsűtő rendszer hűtőcellái villamosenergia-ellátás épülete	Power Supply Building on the Discharge Channel
		UNC	Hőellátó központi épület	Cogeneration Building
		UTH	Kazánház	Boiler House
		UBU	Készenléti villamos betáplálás épülete	Building of the Standby Supply Assemblies
		UTF	Közös gázépület	Combined Gas Building
		UBV	10 kV-os villamos háziüzemi épület	Building of 10 kV Auxiliary Switchgear
	Vízkezelő épületek	ULH	Sótalanító üzem	Demineralization Plant Building
		UQC	Vízkezelő	Water Conditioning Building
		UGB	Pótvízelőkészítő	Water Preparation Building
		ULD	Mosató rendszer víztisztító épülete	Purification Plant Building for Preoperational Flushing Water with Tank Facilities

	Iroda, oktatási és szociális épületek	UXR	Őrzés-védelmi központ	Guard House
		UYD	Étterem	Canteen
		UYH	Oktató és gyakorló központ	Educational and training center
		UYA	Iroda	Office Building
		UYA	Iroda- és kiszolgáló épület	Office-Utility Building
	Kisegítő épületek	UYA	Laboratórium	Laboratory Building
		UST	Műhelyek a felügyelt zónában	Workshops in uncontrolled access area
		USL	Konténer raktár	Containers warehouse
		UST	Központi raktár	Warehouse
		USK	Gázpalack tároló	Gas bottles warehouse
	Szállítás és közlekedés épületei	UKX	Speciális járművek fűtött garázs	Parking lot (garage)
		UFY	Őrzött zónahatári porta	Checkpoints for personnel and transport access

Műtárgy	UEC	Védett vezetési pont	Emergency control center
	UZM	Polgári védelmi óvóhely	Civil defense shelter
	URC	Tartalék biztonsági hűtővíz-rendszer hűtőcellák	Cooling cell
	UQY	Melegvíz-csatorna közműhíd	Bridge structure
	UGG	Ivóvíz tartály	Water Storage Tank
	UGF	Tűzivíz tartály	Water storage tanks for firefighting
	UEK	Kültéri olajtároló	Oil storage
	UEJ	Kültéri dízel üzemanyag tároló	Diesel fuel storage
	UMW	Vészleürítő olajtartály	Emergency Oil Drain Tank
	UGD	Pótvíz előkészítő üzem tartálypark	External installation of water treatment tanks
	UQN	Zárt szelvényű melegvizes csatorna	Covered discharge channel
	UUP	Távfűtővezeték szerkezetei	Structures of winter heating pipeline

		UTH	Segédkazán leiszapoló akna	Blowdown pit
Mérnöki szerkezet		UJG	Konténment beszállító állvány	Equipment lock trestle
		UKH	Szellőző kémény	Ventilation stack
		UZF	Szabadtéri átrakó központ	Reloading unit
		UQU	Melegvízkivezető műtárgy	Conjugating structure
		UQA	Kondenzátor hűtővíz szerelvényház	Butterfly Valve Chamber
		UQV	Hűtővíz bevezető csatorna	Cooling water intake channel
		UQV	Melegvíz-csatorna	Outdoor discharge channel
		UQV	Energiatörő műtárgy	Water outlet structure
Alapozás	Állvány	UNY	Technológiai csőtartószerkezet	Process Trestle
		UTY	Technológiai állványzat	Process trestle
	Tartályalapozás	ULR	Blokki sótalanító üzem	Tank facilities

		ULC	Kondenzvezetékek mosatórendszerének fogadótartály szerkezetei	Structure for Preoperational Flushing Water Tank
	Berendezés és konténer alapozás	UCQ	Szabadtéri gázpalacktároló	Installation Site for Storage Containers for Control Gas Media Cylinders
		UCQ	Közösüzemi szabadtéri gázpalacktároló	Installation site for storage containers for control gas media cylinders
		ULH	Hidrogéntárolók épülete	Hydrogen receivers' storage area
		UUU	Ellenőrzött zóna kommunális szennyvíz-átemelő szivattyútelep	Sewerage pumping station for the transfer of domestic drains in controlled access area
		UGQ	Őrzött üzemi területi kommunális szennyvíz-átemelő szivattyú állomás	Sewerage pumping stations for the transfer of domestic drains in uncontrolled access area
		UGM	Ipari, zápor és olajos szennyvíz-átemelő szivattyútelep	Sewerage pumping stations for the transfer of industrial-storm drains and petroleum-containing drains
		UGV	Ipari és csapadékvíz tisztító létesítmények	Complexes of Local Plants for Industrial and Storm Drains Purification
	Trafóalap	UBD	Kompakt transzformátor állomás	Supporting structure for the Package transformer substation
		URA UBE UBW	10/0,4 kV transzformátor alállomás	10/0.4 kV package transformer substations

Technológiai csatorna	Hűtőtorony alapozás	UBD	10/0,4 kV-os moduláris transzformátor alállomás	10/0.4 kV unit and modular package transformer substation
		URA	Csúchűtő rendszer hűtőcellák	Cooling cells of peak cooling system
		PAB	Csúchűtő rendszer csővezeték tartószerkezetek	Structures of pipeline of peak cooling system (91, 92PAB)
	Vízvezeték alagút	UQZ	Biztonsági rendszer csőalagút (elsődleges biztonsági hűtővíz-rendszer)	Tunnel of the safety systems, Main Essential Service Water System
		URJ	Hűtőcellákat és a biztonsági hűtővíz-rendszer tartalék hőelvonójának szivattyúállomásait összekötő közműalagút	Tunnel of the safety systems, Hydraulic Engineering Tunnels, Standby Essential Service Water System
		URZ	Biztonsági rendszer közműalagút (készenléti biztonsági hűtővíz-rendszer)	Tunnel of the safety systems, Standby Essential Service Water System
	Kábel- cső- és személy közlekedést szolgáló alagutak	USZ	Kábel és csőalagút	Cable-pipeline tunnel
		UKZ	Járható kábel- és csővezeték alagút	Personal Cable-Pipeline Tunnel with Branch Line
		ULZ	Kábel alagút	Cable Tunnel

		UYU	Gyalogos felüljáró és kábelátvezetés az ellenőrzött zónában	Pedestrian and cable overpass in controlled access area
		UUB	Kábelhálózati alépítmények	Structures for cable networks
	Távhővezeték-csatorna	UUU	Erőmű fűtési rendszer csőtartó szerkezete	Structures of pipelines of the Plant Heating System
	Olaj és dízel fogadó	UEH	Olaj és dízel üzemanyag fogadó létesítmény	Oil and diesel fuel receiving structure
	Technológiai vízrendszerek	UUP	Kondenzátor hűtővíz csővezeték alépítményei	Structures of outdoor networks of the main circulating water system
		UUQ	Nyersvíz rendszer kültéri hálózatainak tartószerkezetei	Structures of outdoor networks of the raw water system
		UUS	Nyersvíz rendszer kültéri hálózatainak tartószerkezetei	Structures of outdoor networks of the raw water system
		UUQ	Tartalék biztonsági hűtővíz-rendszer töltő csővezeték szabadtéri tartószerkezetei	Structures of outdoor networks of the system of standby essential service water system filling
Egyéb mérnöki építmény és szerkezet	Útépítés, térburkolatok	UZA	Telephelyi utak	Structures of on-site motor roads
		UZD	Gépjármű parkolók és buszmegállók	Structures of parking lots and bus stop
		UBX	Hulladékgyűjtő konténer tárolóhely	Structures of installation site for waste collection containers

		UBB	Fizikai védelmi rendszer mobil dízel generátor tárolóhely	Structures for mobile diesel generator set of physical protection systems
		UBB	TAK2 dízel generátor tárolóhelye	Structure for mobile diesel generator set of design extension conditions (DEC-2)
	Vasútéptés	UBJ	Transzformátor állomás kihúzósin	Structures of transformer tracks
		UZE	Vasúti vágányok	Railway tracks
	Vízellátás	UUH	Tűzivíz-hálózat alépítményei	Fire-fighting water pipeline
		UUG	Kommunális ivóvízhálózat alépítményei	Domestic-drinking water pipeline
		UUV	Technológiai vízvezeték alépítményei	Industrial water pipeline
	Csatornázás	UUK	Felügyelt zóna szennyvízelvezető hálózat alépítményei	Domestic sewerage within uncontrolled access area
		UUL	Ellenőrzött zóna szennyvízelvezető hálózat alépítménye	Domestic sewerage within controlled access area
		UUM	Ipari-csapadékvíz csatornahálózat alépítményei	Industrial storm drains sewerage
		UUV	Olajos szennyvíz-csatorna alépítményei	Petroleum-containing drains sewerage

Komplex egység	Komplex villamos-technológiai építmények	UBF	Blokki, háziüzemi és tartalék háziüzemű transzformátorok építményei vészhelyzeti olajleeresztő tartállyal	Structure for Unit-, Auxiliary- and Standby Auxiliary Transformers
		UGF	132 kV és 400 kV-os távvezeték kültéri berendezései	Outdoor Installation of 132 kV and 400 kV lines Equipment
		UAP	132 kV-os távvezeték kültéri berendezései	Outdoor installation of 132 kV line equipment
	Szennyvíztisztító	UGV	Ipari, zápor és olajos szennyvizek átemelő szivattyútelep szennyvíztisztító üzemének tartószerkezetei	Supporting structure for the Complex of purification plants for industrial-storm drains and petroleum-containing drains
		UGR	Az ellenőrzött zóna kommunális szennyvíz tisztító üzemének tartószerkezetei	Supporting structure for the Complex of purification plants for domestic drains in the controlled access area
		UGR	Szabad zóna kommunális szennyvíztisztító üzemének tartószerkezetei	Supporting structure for the Complex of purification plants for domestic drains in the uncontrolled access area
Egyéb építmény		UPN	Monitoring kutak	Monitoring wells
		UZJ	Kerítések	Fences

Megjegyzések:

Az atomerőművi építményjegyzék tagolása a tervezői szakágak szerinti bontásban készült.

A jegyzékben, az egyes építmények neve alatt, egyes esetekben eltérő építési szerkezetek szerepelnek. Külön felsorolásban szerepelnek pl. az épületekhez tartozó külső tartálpark alapozási szerkezetei.

Az egyes címek alatti szerkezeti terjedelem az aktuális projektnek megfelelően változhat. A tervezett erőmű eltérő szerkezeti megoldása következtében újabb szerkezetek kerülhetnek az építéstervezés terjedelmébe, vagy mások szükségtelenné válnak. Ennek megfelelően átsorolásokra kerülhet sor, a közölt példában szereplő egyes címszavak (pl. alapozás) terjedelme változhat.

Az építmények felsorolásában feltüntettük a KKS (Kraftwerk-Kennzeichensystem/Identification System) atomerőművi azonosító rendszer szerinti kódokat.

16.7.Események

Az alábbiak a tervezési szakterületek, szabályozási dokumentumok különböző szempontú megítélései alapján meghatározott események tervezői áttekintését tartalmazzák.

16.7.1. Események áttekintő csoportosítása

Biztonsági hatású eseménycsoport

bázisesemény

olyan hiba, amelynek a bekövetkezési gyakorisága és/vagy valószínűsége közvetlenül számszerűsíthető, és amely bekövetkezésének okát részletesen nem vizsgálják, nem bontják tovább (N3a.11.2.).

biztonságot érintő esemény (NBSZ 10. 33.)

a nukleáris létesítményben, berendezésben vagy radioaktív anyaggal végzett tevékenység során a nukleáris biztonságot kedvezőtlenül befolyásoló esemény, amely az emberek nem tervezett sugárterheléséhez, valamint a környezetbe radioaktív anyagok nem tervezett kibocsátáshoz vezethet.

csúcsesemény

egy adott hibafa záróeseménye. A hibafa egésze által leírt összetett hibaesemény mint kedvezőtlen kimenetel fellépését reprezentálja (N3a.11.2.).

kezdeti esemény

a) biztonsági szempontból fontos RRE olyan állapotváltozása, amely kimozdítja az erőművet a normál üzemi (TA1) állapotból a TA2-4 vagy TAK1-2 üzemállapotok valamelyikébe.

A lehetséges kezdeti események közül a feltételezett kezdeti események azok, amelyek következtében kialakuló folyamatok elemzésével a tervező bizonyítja a tervezési alap keretein belül előírt kritériumok teljesülését (N3a.12.3.).

a) olyan esemény, amely közvetlenül zónasérüléshez vezethet (pl. reaktortartály törése) vagy a normál működést megzavarva a zónasérülés elkerüléséhez biztonsági és nem biztonsági rendszerek sikeres működését igényli (N3a.11.2.)

nukleáris baleset (Atv. 2. § 24.)

minden olyan rendkívüli esemény, amely atomkárt okoz.

rendkívüli esemény (Atv. 2. § 20.)

az atomenergia alkalmazását szolgáló létesítményben, berendezésben, vagy radioaktív (nukleáris) anyaggal végzett tevékenység során - bármilyen okból - bekövetkező olyan esemény, amely a biztonságot kedvezőtlenül befolyásolhatja, és az emberek nem tervezett sugárterhelését, valamint a környezetbe radioaktív anyagok nem tervezett kibocsátását eredményezi vagy eredményezheti.

szokatlan esemény (OAH 1.25 útm. 2.1)

olyan nem várt esemény, melynek bekövetkezése az érvényes biztonsági elemzések alapján nem feltételezett, és melynek kapcsán intézkedéseket kell kezdeményezni annak kezelésére.

üzemi esemény (NBSZ 10.185.)

az üzemeltetés során előforduló esemény, amelynek következményeit a nukleáris létesítmény rendszereinek működése úgy korlátozza, hogy az üzemeltetési feltételek és korlátok, valamint a normál üzemi állapot feltételei betarthatóak maradnak.

védelmi esemény (Fv-18. 2.1)

bármilyen észlelhető vagy megkülönböztethető történés, amelynek jelentősége van a programozható rendszer üzemeltetésére vagy szolgáltatás nyújtására, valamint annak a hatásnak az értékelésére, amelyet egy adott eltérés okozhat a szolgáltatásokban.

védelmi incidens (Fv-18. 2.1)

olyan szándékosan előidézett vagy véletlenül bekövetkező védelmi esemény (vagy eseménysorozat), amely

- ténylegesen vagy potenciálisan veszélyezteti egy programozható rendszer vagy az abban tárolt, feldolgozott, illetve továbbított információ bizalmasságát, sértetlenségét vagy rendelkezésre állását; vagy a
- biztonsági politikák, biztonsági eljárások, illetve a kapcsolódó házirendek megsértésével vagy annak közvetlen veszélyével jár.

Következmény és veszélyesség alapú eseménycsoport

([19] alapján, az egyes definíciók a jelölt forrásból)

A biztonság egyes összetevőire ható helyzetek és állapotok lehetséges következményei, amikor a veszélyek megnyilvánulási szintje

- | | |
|---|-----------------------|
| • legmagasabb: | fenyegetés |
| • olyan szint, melynek következményei lehetnek: | kockázat |
| • legalacsonyabb: | kihívás (16. 2. ábra) |

fenyegetés (FV-18.2.1.)

az emberek, a tulajdon vagy a környezet sérelmével járó káresemények okozásának lehetősége olyan személyek által, akik motivációval, szándékkal és lehetőséggel rendelkeznek a rosszindulatú cselekmények elkövetésére.

kockázat (FV-18.2.1.)

annak a lehetőségnek a mértéke, hogy egy adott fenyegetés kihasználja egy adott rendszer vagy rendszercsoport sérülékenységeit, és ezzel kárt okoz a rendszert üzemeltető szervezetnek.

Mérése a támadás valószínűségének (T), amely függ a motivációtól, képességtől és a szándék rosszindulatától, a támadás sikeressége valószínűségének (S), amely függ a sérülékenységektől és a következmények (K) szorzatából adódik.

Kockázat = $T \times S \times K$.

kihívás ([14])

a kihívások az egyes életciklus-szakaszok biztonságot érinthető jellemzői alapján határozhatók meg, első-, másodrendű és generikus kihívásokat különböztetünk meg.

- elsőrendű kihívások
az egyes életciklus-szakaszok céljaival és belső jellemzőivel vannak összefüggésben.
Ilyen pl. a bevont közreműködők közötti szakmai megértés hiánya.
- másodrendű kihívások
a projekt környezethez kötött jellemzői.
Ilyenek pl. a tevékenységek kiszervezésével és a vonatkozó szerződéses részletekkel, kapcsolatosak, amelyek alááshatják a biztonságot.



16.2. ábra: Integrált modell a biztonsági kultúra kihívásainak azonosítására ([1] Figure 2, alapján)

- generikus (általános) kihívások
a biztonsági kultúrával kapcsolatosak. Abból fakadnak, hogy a nukleáris életciklus tervezési, kivitelezési és telepítési, valamint üzembe helyezési

szakaszában végzett tevékenységek egy komplex, bizonytalanságok között működő társadalmi-technikai rendszerben alakulnak ki.

Következmény és súlyosság alapú eseménycsoport

A súlyosság megítélésének elsődleges alapja a radioaktív kibocsátás mértéke. A biztonsági fontosság szerinti kategorizáláskor (biztonsági osztályba soroláskor) alkalmazzuk.

súlyos következmény

a radioaktívanyag-kibocsátás meghaladhatja a tervezési üzemzavarokra a hatóság által meghatározott korlátokat, vagy a fizikai paraméterek túlléphetik a TA4 állapotokra meghatározott tervezési korlátokat.

közepesen súlyos következmény

- a radioaktívanyag-kibocsátás meghaladhatja a várható üzemi eseményekre (TA2) a hatóság által meghatározott korlátokat (a magyarországi szabályozásban azonosak a normál üzemi korlátokkal)
- a fizikai paraméterek túlléphetik a várható üzemi eseményekre meghatározott tervezési korlátokat (vagyis a rendszer TA3, TA4 állapotba jut).

mérsékelten súlyos következmény (N3a.1.3.3)

legfeljebb a dolgozókra meghatározott, származtatott dóziskorlátok túllépését eredményezheti.

Következmény és jelentőség alapú eseménycsoport

alacsony jelentőségű esemény (IAEA (2012))

olyan elégtelenség vagy hiányosság felfedezése, amely nemkívánatos hatást okozhatna, de a mélységben tagolt védelem egy (vagy több) gátja megléte miatt ez nem következett be.

jelentésköteles esemény (NBSZ 10. 83.)

jogszabályban szereplő követelmény vagy egyedi hatósági előírás alapján a nukleáris biztonsági hatóság részére jelentendő esemény.

near miss (NBSZ 10. 129.)

olyan esemény, amely egy feltételezhető eseménysorozat következtében megtörténhetett volna, és ebben az esetben a nukleáris biztonságra kedvezőtlen hatással is járhatott volna, de a nukleáris létesítményben fennálló körülmények miatt mégsem történt meg.

nem tervezett üzemképtelenség (OAH 1.25 útm. 2.1)

az üzemképtelenség nem tervezett, ha a meghibásodás nem okozza az érintett biztonsági funkció elvesztését, de a következmények elkerülése miatt azonnali beavatkozásra van szükség és a javítás feltételeinek megteremtése a biztonsági funkció elvesztését okozza.

tervezett üzemképtelenség (OAH 1.25 útm. 2.1)

az üzemképtelenség tervezett, ha a meghibásodás nem okozza az érintett biztonsági funkció elvesztését, továbbá a hibával együtt lehet élni hosszabb távon, azonban a hibajavítást ütemezetten, tervezett módon végrehajtják és az üzemképtelenné válás emiatt következik be.

ÜFK (Üzemeltetési Feltételek és Korlátok, korábban és más néven MŰSZ, Műszaki Üzemeltetési Szabályzat) sértés (OAH 1.25 útm. 2.1)

minden olyan esemény, amely során a MŰSZ korlátozás hatálya alá kerülés történik, és

- a) a MŰSZ-ben előírt intézkedéseket a személyzet nem, vagy nem az előírt időhatáron belül hajtotta végre, vagy
- b) a MŰSZ-ben előírt intézkedéseket végrehajtották, azonban a korlátozás átlépése a megadott időkorláton túl áll vagy állt fenn.

Nemzetközi Nukleáris és Radiológiai Esemény Skála

célja a lakosság és a szakmai szervezetek közötti tájékoztatás elősegítése, az engedélyes és a nukleáris biztonsági hatóság között egyeztetett formában jelezve az esemény biztonsági jelentőségét.

16.7.2. Engedélyezési eseménykombinációk és eseményhalmazok

A szabályozási dokumentumokban meghatározott eseménykombinációk, eseményhalmazok az atomerőmű elemzési, tervezési, ellenőrzési folyamatainak kötelezően figyelembe veendő elemeit tartalmazzák.

A tervezési alap az üzemviteli potenciális események csoportját foglalja magában. A tervezési alap kiterjesztése a komplex üzemzavar és a balesetkezelés körébe tartozó események körének összefoglalása.

Üzemviteli események/tevékenységek**üzemi esemény (NBSZ 10. 185.)**

az üzemeltetés során előforduló esemény, amelynek következményeit a nukleáris létesítmény rendszereinek működése úgy korlátozza, hogy az üzemeltetési feltételek és korlátok, valamint a normál üzemi állapot feltételei betarthatóak maradnak.

normál üzem - TA1 (NBSZ 10.132.)

normál üzemben a nukleáris létesítmény a nukleáris biztonsági hatóság által jóváhagyott Üzemeltetési Feltételek és Korlátok betartása mellett működik, atomreaktor és atomerőmű esetén a terhelésváltoztatást, a leállást, az indítást, a fűtőelemkötegek cseréjét, karbantartást, a próbákat és egyéb tervezett műveleteket is ideértve.

tervezési üzemzavar (NBSZ 10. 172.)

a tervezési alapon feltételezett kezdeti esemény által kiváltott és az egyszeres meghibásodás elve szerint elemzett, valamint ezen elemzések által lefedett a nukleáris létesítmény üzemideje során csekély valószínűséggel előforduló üzemállapot, amely csak a tervekben meghatározott jellegű és mértékű fűtőelem károsodást eredményez.

várható üzemi esemény - TA2 (NBSZ 10. 194.)

a tervezési alapon feltételezett kezdeti esemény által kiváltott és az egyszeres meghibásodás elve szerint elemzett, továbbá ezen elemzések által lefedett olyan folyamat, amely jelentős eséllyel megvalósul a nukleáris létesítmény üzemideje során.

Komplex üzemzavari események/tevékenységek

komplex üzemzavar - TAK1 (NBSZ10.98.)

új atomerőművi blokk esetében a várható üzemi események és a tervezési üzemzavarok körén kívül eső üzemállapot, amely a tervezési alapba tartozó üzemállapotoknál súlyosabb következményekkel járhat, üzemanyag-olvadással nem járó fűtőelem-sérülést okozhat. Meglévő nukleáris létesítmény esetén a tervezésen túli üzemzavarnak felel meg.

Balesetkezelés körébe tartozó események/tevékenységek

súlyos baleset - TAK2 (NBSZ10.158.)

súlyos baleset bekövetkezése esetén az atomerőművi blokk üzemanyag-olvadással együtt járó, TAK1- nél súlyosabb, telephelyen kívüli hatásokat is okozó üzemállapota alakul ki.

nagyon súlyos baleset (NBSZ10.128.)

nagyon súlyos baleset következik be, ha az új atomerőművi blokkok esetében tervezési alap kiterjesztésébe tartozó üzemállapotoknál súlyosabb, a baleset-elhárítási felkészülés alapjául szolgáló elemzések keretében figyelembeveendő állapot alakul ki.

16.8. Atomerőművi követelmények

Szabványalkalmazás

A biztonság szempontjából fontos rendszereket és rendszerelemeket a nukleáris iparban elfogadott szabványok alkalmazásával kell tervezni. A tervezésnél a használatra előírányzott szabványok körét előzetesen meg kell határozni, alkalmazhatóságukat igazolni kell (3a.2.1.2300).

Az egyes biztonsági osztályokra meg kell határozni a tervezés, gyártás, szerelés és ellenőrzés során alkalmazandó megfelelő követelményeket és szabványokat (3a.3.1.2000.).

Szilárdsági elemzést kell végezni minden biztonsági osztályba sorolt teherviselő, nyomástartó rendszer, illetve rendszerelem megfelelőségének igazolására. Külföldön gyártott nyomástartó rendszerek és rendszerelemek méretezésénél külföldi számítási módszerek alkalmazhatók, ha azok nukleáris ipari szabványok vagy nukleáris területen is alkalmazható általános ipari szabványok. A szilárdsági számítást egy előírárendszer keretén belül lehet csak elvégezni (3a.3.3.1600.).

Élettartam

Meg kell határozni az atomerőmű tervezett élettartamát és azt, hogy mely biztonsági vagy fizikai gát funkciót teljesítő rendszerelem élettartama határozza meg, vagy korlátozza ezt az élettartamot (3a.3.2.0100.).

Telepítés

Biztonsági övezet

A biztonsági övezet kijelölésével biztosítani kell a 246/2011. (XI.24.) Korm. rend. 3. § 2. alapján a

- lakosságnak a nukleáris létesítmény és a radioaktív hulladék-tároló normál üzemállapotban történő üzemeltetéséből adódó sugárterheléssel szembeni védelmét

A biztonsági övezet határán a folyamatosan ott tartózkodó személyt a nukleáris létesítmény, valamint a radioaktív hulladék-tároló szabályszerű működése során a környezetbe kibocsátott vagy kikerülő radioaktív anyagok sugárzása révén nem érheti nagyobb sugárterhelés 100 $\mu\text{Sv}/\text{év}$ -nél.

(246/2011. (XI.24.) Korm. rend. 5. § 6. alapján)

- ezen létesítmények védelmét a környezetükben végzendő emberi tevékenységgel szemben
- ezen létesítmények biztonságos üzemeltethetőségének megalapozásánál figyelembe vett körülmények tartós fennmaradását.

Veszélyhelyzeti zónák létesítése

- megelőző óvintézkedések zónája (MÓZ) 3 km
- sürgős óvintézkedések zónája (SÓZ) 30 km
- élelmiszer-fogyasztási korlátozások zónája (ÉÓZ) 300 km

Telephely elrendezés

Az atomerőmű építményeit úgy kell megtervezni, hogy veszélyhelyzet esetén az atomerőmű telephelyén tartózkodó személyek kimenekítése és mentése gyorsan és biztonságosan megvalósítható legyen (3a.3.5.1200.).

A tervben figyelembe vett események vagy ezek kombinációja esetére legalább egy menekülési útvonalnak rendelkezésre kell állnia a munkavégzési helyekről és a személyzet által használt egyéb helyekről (3a.3.5.1410.).

Megfelelő tartalékokkal meg kell becsülni, hogy a TA3-4 és TAK1-2 események, valamint azok kezelése és elhárítása során várhatóan milyen típusú és mekkora mennyiségű radioaktív hulladék keletkezhet. Ezek ismeretében meg kell tervezni a hulladékok átmeneti tárolására és kezelésére alkalmas megoldásokat, és ki kell jelölni ezek helyét a telephelyen (3a.6.3.0900.).

Megfelelő tartálykapacitással kell rendelkezni a radioaktív vizek tárolásához a környezetbe való kijutás minimalizálása érdekében (3a.6.3.1900.).

A telephelyen tartózkodó minden személy riasztására alkalmas telephelyi riasztórendszert kell kiépíteni. A veszélyhelyzet intézkedések végrehajtásának érdekében egyszerűen, érthetően és tartós módon megjelölt és megbízhatóan kivilágítható biztonságos menekülési utakat és azok biztonságos használatához szükséges egyéb feltételeket kell biztosítani az atomerőműben. A menekülési útvonalakat úgy kell megtervezni, hogy azok kielégítsék a munkavédelmi, sugárvédelmi, tűzvédelmi és fizikai védelmi követelményeket (3a.7.1.0600.).

A személyzet által üzemzavar közben használni szükséges útvonalakat meg kell határozni. Az őrzésvédelmi intézkedések nem gátolhatják meg a kezelők szükséges mozgását üzemzavari helyzetben (3a.7.1.1200.).

A fizikai védelem zónái

nukleáris vagy más radioaktív anyag alkalmazása, tárolása, illetve nukleáris létesítmény üzemeltetése csak fizikai védelmi szempontból ellenőrzött területen belül folytatható. Az a terület, ahol a nukleáris vagy más radioaktív anyag, illetve a

nukleáris létesítmény védelme érdekében fizikai védelmi rendszert alakítanak ki és működtetnek, ellenőrzött területnek minősül (FV-5. (2019) útmutató 3.2.).

Sugárvédelmi zónák

A létesítmény területét a várható és a mérhető dózisteljesítményeket és radioaktív szennyezettséget, valamint a várható dózisokat figyelembe véve kell ellenőrzött, felügyelt és szabad zónákra osztani (4.10.3.0100.).

Technológiák és tervezési megoldások

A biztonság szempontjából fontos rendszereket, rendszerelemeket hasonló feltételek között kipróbált, bevált konstrukciós megoldásokat alkalmazva kell tervezni. Ettől eltérő esetben olyan technológiákat és termékeket kell alkalmazni, amelyek alkalmazhatóságát megvizsgálták és igazolták (3a.2.1.2400).

Az új tervezési megoldások esetében, amelyek eltérnek a műszaki gyakorlatban bevett megoldásoktól, az alkalmazhatóságot adekvát kutatásokkal, tesztekkel, más alkalmazásokban szerzett tapasztalatok elemzésével biztonsági szempontból igazolni kell.

Az új megoldást tesztelni kell az üzembe helyezés előtt. A rendszer, rendszerelem működését - annak üzemelése közben - monitorozni kell a megfelelés végleges igazolása érdekében.

Az atomerőművi blokk minden olyan részén, ahol az üzemeltető személyzet rendeltetésszerűen tartózkodik vagy tartózkodhat, a TA1-4 és TAK1 üzemállapotokban olyan munkakörnyezetet kell biztosítani, amely megfelel annak az elvnek, hogy a személyzet sugárterhelését az észszerűen megvalósítható legalacsonyabb szinten kell tartani (3a.5.1.0300.).

Építmények és épületszerkezetek tervezése

Az atomerőmű nukleáris építményei tervezése során az építészeti-műszaki tervezésre vonatkozó általános szabályokat a nukleáris rendszerekre, rendszerelemekre megállapított sajátos követelmények figyelembevételével kell alkalmazni (3a.3.4.0100.).

A konténmentet mint nyomástartó berendezést kell méretezni és nyomástartó képességének rendszeres ellenőrzési lehetőségét biztosítani kell (3a.3.3.0400.).

Szerkezeti anyagok

A nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerek, rendszerelemek tervezésekor olyan szerkezeti anyagokat kell alkalmazni, amelyek (3a.3.2.0600.(részlet)):

- kipróbáltak, környezetállósági szempontból minősítettek, megfelelnek a tervezési és környezeti feltételeknek,
- neutronsugárzásnak kitett rendszerek, rendszerelemek esetében
 - felaktiválódásra a lehető legkevésbé hajlamosak,
 - sugárzás hatására sem romlik a feszültségkorrózió-állóság,
- neutronsugárzásnak kitett rendszerelemek esetén anyagtulajdonságainak változása a lehető legkisebb
- degradációs folyamataik az adott körülmények között és közegben ismertek,
- olyan felületi kiképzést tesznek lehetővé, amelyek a lehető legnagyobb mértékben dekontaminálhatók,
- tűzállóak, vagy a tűzvesélyességük kellően korlátozható.

Biológiai védelem

Az atomerőművi blokkon biológiai védelmet kell tervezni minden olyan helyre, ahol számítani lehet a láncreakció következtében fellépő közvetlen radioaktív sugárzásra, valamint radioaktív anyagok felhalmozódására (3a.5.4.0100.).

Biztosítani kell, hogy a telephely környezetében legyen meteorológiai mérőállomás, amely a tervekben meghatározott terjedelemben és gyakorisággal biztosítja a meteorológiai adatok rendelkezésre állását, minden olyan esetben, amikor azokra szükség van. A meteorológiai információknak minden olyan helyen rendelkezésre kell állni, ahol az a tervek szerinti folyamatokhoz, eljárásokhoz szükséges (3a.5.5.0300.)

Dekontaminálás

A dekontaminálás lehetőségét minden olyan helyen meg kell teremteni, ahol az üzemeltető személyzet sugárterhelését észszerűen csökkenteni lehet. A radioaktív közegek szivárgásának megakadályozásával, az ürítő-, légtelenítő, valamint túlfolyóvezetékek zárt rendszerű kialakításával minimalizálni kell a dekontaminálás szükségességének mértékét (3a.5.2.0100.).

Biztosítani kell, hogy radioaktív közeggel üzemszerűen érintkező vagy radioaktív szennyeződésnek kitett rendszerelem anyaga és konstrukciója, kialakítása tegye lehetővé a dekontaminálást és a dekontamináló oldat teljes eltávolítását. A dekontaminálási folyamatot úgy kell megtervezni, hogy az érintett rendszerelemek felületminősége a dekontaminálás után is megfeleljen a követelményeknek (3a.5.2.0200.).

Nukleáris létesítmények helyiségeinek és berendezéseinek dekontaminálásánál minimálisan figyelembe kell venni a helyiségek és berendezések közötti szennyeződés-terjedés tervezett irányát és az adott helyiségben alkalmazható vegyszerekre és technológiákra vonatkozó korlátozást (3a.5.2.0900.).

Azoknak a berendezéseknek, illetve eszközöknek, amelyek biztonságosan elszállíthatók, ki kell alakítani a dekontaminálás elvégzéséhez egy külön helyiséget, ahol a folyamat végrehajtható anélkül, hogy a nukleáris biztonságot befolyásolná (3a.5.2.1000.).

Leszerelés

Már a tervezési fázisban intézkedéseket kell előírni a radioaktív szivárgások és kifolyások, csökkentésére, ennek érdekében (3a.3.8.0300.):

- a) korlátozni kell az eltakart, bebetonozott, földbe fektetett csővezetékek, csatornák és rendszerelemek mennyiségét a falakban és födémekben, az eltakart rendszerelemek esetében monitorozási lehetőséget kell biztosítani,
- b) korlátozni kell a potenciálisan radioaktív közegeket tartalmazó tartályok, aknák és szennyvízvezetékek mennyiségét, továbbá
- c) bebetonozott csővezetékeket, a tartályokat és az aknákat rozsdamentes acélból kell készíteni

Izoláló és hermetizáló elemek

Zsilipek

Figyelembe kell venni a redundancia elvét, az építménybe történő bejutást minden üzemállapotban biztosítani szükséges. A zsilipek ajtóinak állapotjelzéssel kell rendelkeznie.

Kettős tömítést kell alkalmazni a külső és belső ajtókon és biztosítani kell az ajtók és a tömítések közötti tér szivárgásellenőrzésének lehetőségét (N3a.39.6.5.).

Az üzemeltető személyzet konténmentbe való belépését olyan reteszelt zsilipeken keresztül kell megvalósítani, ahol biztosítható, hogy legalább a zsilip egyik ajtaja zárt állapotban van a TA1-4 és TAK1 üzemállapotokban (3a.4.6.1000.).

Meg kell határozni a konténment zsilipeknek a TAK1-2 üzemállapotra érvényes funkcionalitási követelményeit (3a.4.6.1100.).

Az anyagok és berendezések mozgatásához szükséges konténment nyílászárókat úgy kell tervezni, hogy gyorsan és megbízhatóan zárhatóak legyenek a konténment izoláció szükségessé válása esetén (3.4.6.1120.).

Átvezetések

A konténment falán áthaladó **átvezetések számát** az észszerű mértékig **minimalizálni kell** és minden átvezetésnek meg kell felelnie a konténment hermetikusságára és integritására vonatkozó tervezési követelményeknek. Az átvezetéseket **védeni kell** a csővezetékek mozgása vagy az üzemzavari terhelések által okozott reakció erőktől, különösen a külső vagy belső eseményektől, vízszugártól, repülő tárgyaktól és csővezeték ostromozó mozgásától (3a.4.6.0910.).

A konténment határoló falán áthaladó, a fővízkör nyomáshatárával vagy a konténment légterével közvetlen kapcsolatban lévő csővezeték legalább két, megbízhatóan, egymástól függetlenül, segédenergiával működtetett és soros elrendezésű gyorszáró hermetizáló szerelvénnel kell ellátni, melyek közül az egyiket a konténmenten belül, a másikat azon kívül kell elhelyezni (3a.4.6.1900.).

Bevonatok

A konténment szerkezet minden a primerköri berendezések felé néző felületét dekontaminálható külső réteggel szükséges ellátni (ez lehet burkolat vagy bevonat is), biztosítandó a sugárvédelmi továbbá a leszerelésre vonatkozó követelmények teljesülését (N3a.39.5.7.).

Nukleáris létesítmények helyiségeinek és berendezéseinek dekontaminálásánál minimálisan figyelembe kell venni a helyiségek és berendezések közötti szennyeződés-terjedés tervezett irányát és az adott helyiségben alkalmazható vegyszerekre és technológiákra vonatkozó korlátozást (3a.5.2.0900.).

Azoknál a helyiségeknél, ahol előfordulhat szennyezett vizek kijutása, dekontaminálható felületeket kell létrehozni, valamint a szennyeződés terjedését meg kell akadályozni. A helyiségben megfelelő határoló felületeket, illetve a terjedés irányításához szükséges megoldást kell alkalmazni a szennyeződött felületek korlátozásához, a gyors elvezetéshez, valamint a kifolyt folyadék összegyűjtéséhez (3a.5.2.1100.).

Megoldási módot kell tervezni potenciálisan szárazra kerülő és szennyezett felületek kezelésére (3a.5.2.1200.).

A burkolatok és bevonatok anyagát a konténment funkciójának megfelelően kell kiválasztani, alkalmazásukat specifikálni. Alkalmazásuk, kopásuk, meghibásodásuk nem befolyásolhatja a biztonsági funkciók ellátását (3a.4.6.1300.).

16.9. Nukleáris szakmai terület szabályozási dokumentumai

A nukleáris jog nemzetközi dokumentumai

	NAÜ alapokmánya (1957) IAEA statute
PC	Párizsi egyezmény (2016) (Paris Convention)
CSA	Teljes körű biztosítéki egyezmény (1972) (Comprehensive Safeguards agreement)
CPPNM	Fizikai védelmi egyezmény (1979) (Convention on the Physical Protection of Nuclear Material)
ACPPNM	A Fizikai Védelemi Egyezmény módosítása (2005) (Amendment to the CPPNM)
AC	Nukleáris baleset, vagy sugaras veszélyhelyzet esetén való segítségnyújtásról szóló egyezmény (1986) (Assistance convention)
EN	Nukleáris balesetokról adandó gyors értesítésről szóló egyezmény (1986) (Early notification convention)
JP	NEÜ/NAÜ Közös jegyzőkönyv (1988) (Joint Protocol)
CNS	Nukleáris Biztonsági Egyezmény (1994) (Convention on Nuclear Safety)
CTBT	Átfogó Atomcsend Szerződés (1996) (Comprehensive Test Ban treaty)
JC	Közös egyezmény (1997) (Joint convention)
AP	Kiegészítő jegyzőkönyv (1997) (Additional protocol (INFRCIRC/540))

Törvény

- Atv. 1996. évi CXVI. tv. az atomenergiáról
1997. évi I. tv. a nukleáris biztonságról a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség keretében Bécsben, 1994. szeptember 20-án létrejött Egyezmény kihirdetéséről

Rendeletek

Kormányrendeletek

- 148/1999. (X. 13.) Korm. rendelet
az országhatáron áttérjedő környezeti hatások vizsgálatáról szóló, Espoóban (Finnország), 1991. február 26. napján aláírt egyezmény kihirdetéséről.
165/2003. (X. 18.) Korm. rend. a nukleáris és radiológiai veszélyhelyzet esetén végzett lakossági tájékoztatás rendjéről
167/2010. (V. 11.) Korm. rend. az országos nukleárisbaleset-elhárítási rendszerről

Fizvr. 190/2011. (IX. 19.) Korm. rend. az atomenergia alkalmazása körében a fizikai védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről
246/2011. (XI.24.) Korm. rend. a nukleáris létesítmény és radioaktív hulladék-tároló biztonsági övezetéről
155/2014. (VI. 30.) Korm. rend. a radioaktív hulladékok átmeneti tárolását vagy végleges elhelyezését biztosító tároló létesítmények biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről
208/2015. (VII. 23.) Korm. rend. a Paksi Atomerőmű kapacitásának fenntartására irányuló és az azzal kapcsolatos beruházásokkal összefüggő közigazgatási hatósági ügyek nemzetgazdasági szempontból kiemelt jelentőségű üggyé nyilvánításáról
489/2015. (XII. 30.) Korm. rend. a lakosság természetes és mesterséges eredetű sugárterhelését meghatározó környezeti sugárzási helyzet ellenőrzési rendjéről és a kötelezően mérendő mennyiségek köréről

Miniszteri rendeletek

16/2000. (VI.8.) EüM rend. az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról
15/2001. (VI. 6.) KöM rend. az atomenergia alkalmazása során a levegőbe és vízbe történő radioaktív kibocsátásokról és azok ellenőrzéséről.
11/2010. (III. 4.) KHEM rend. a radioaktív anyagok nyilvántartásának és ellenőrzésének rendjéről, valamint a kapcsolódó adatszolgáltatásról
47/2012. (X. 4.) BM rend. az atomenergia alkalmazásával összefüggő rendőrségi feladatokról
51/2013. (IX. 6.) NFM rend. a radioaktív anyagok szállításáról, fuvarozásáról és csomagolásáról
62/2013. (X. 17.) NFM rend. a Veszélyes Áruk Nemzetközi Vasúti Fuvarozásáról szóló Szabályzat (RID) belföldi alkalmazásáról
5/2015. (II.27.) BM rend. az atomenergia alkalmazásával kapcsolatos sajátos tűzvédelmi követelményekről és a hatóságok tevékenysége során azok érvényesítésének módjáról
26/2017. (VII. 5.) NFM rend. a Veszélyes Áruk Nemzetközi Belvízi Szállításáról szóló Európai Megállapodáshoz (ADN) csatolt Szabályzat belföldi alkalmazásáról
39/2021. (VII. 30.) ITM rend. a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Megállapodás (ADR) „A” és „B” Mellékletének belföldi alkalmazásáról

OAH rendeletek

1/2022. (IV. 29.) OAH rend. a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről
2/2022. (IV. 29.) OAH rend. az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről

3/2022. (IV. 29.) OAH rend. a radioaktív anyagok nyilvántartásának és ellenőrzésének rendjéről, valamint a kapcsolódó adatszolgáltatásról
4/2022. (IV. 29.) OAH rend. a nukleáris anyagok nyilvántartásának és ellenőrzésének szabályairól;
5/2022. (IV. 29.) OAH rend. az atomenergia alkalmazása körében eljáró független műszaki szakértőről;
6/2022. (IV. 29.) OAH rend. az atomenergia alkalmazása körében eljáró független műszaki szakértői tevékenységgel kapcsolatos eljárások díjairól
7/2022. (IV. 29.) OAH rend. az atomenergiáról szóló törvény hatálya alá tartozó építményekkel, létesítményekkel kapcsolatos műszaki szakértői, tervezői, műszaki ellenőri és felelős műszaki vezetői tevékenység szerinti szakmagyakorlásra való alkalmasság igazolásának és nyilvántartásba vételének részletes szabályairól, továbbá a nyilvántartás adattartalmára vonatkozó szabályokról

NBSZ Nukleáris Biztonsági Szabályzat

NBSZ 1.

Nukleáris Biztonsági Szabályzatok, 1. kötet. Nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági hatósági eljárásai. 1. melléklet az 1/2022. (IV. 29.) OAH rendelethez. 122 p.

NBSZ 2.

Nukleáris Biztonsági Szabályzatok, 2. kötet. Nukleáris létesítmények irányítási rendszerei. 2. melléklet az 1/2022. (IV. 29.) OAH rendelethez. 16 p.

NBSZ 3.

Nukleáris Biztonsági Szabályzatok, 3. kötet. Üzemelő atomerőművek tervezési követelményei. 3/A. melléklet az 1/2022. (IV. 29.) OAH rendelethez. 122 p.

NBSZ 3/A.

Nukleáris Biztonsági Szabályzatok, 3/A. kötet. Új atomerőművi blokkok tervezési követelményei. 3/A. melléklet az 1/2022. (IV. 29.) OAH rendelethez. 112 p.

NBSZ 4.

Nukleáris Biztonsági Szabályzatok, 4. kötet. Atomerőművek üzemeltetése. 4. melléklet az 1/2022. (IV. 29.) OAH rendelethez. 80 p.

NBSZ 5.

Nukleáris Biztonsági Szabályzatok, 5. kötet. Kutatóreaktorok tervezése és üzemeltetése. 5. melléklet az 1/2022. (IV. 29.) OAH rendelethez. 101 p.

NBSZ 6.

Nukleáris Biztonsági Szabályzatok, 6. kötet. Nukleáris létesítmény kiegészítő üzemanyagának átmeneti tárolása. 6. melléklet az 1/2022. (IV. 29.) OAH rendelethez. 112 p.

NBSZ 7.

Nukleáris Biztonsági Szabályzatok, 7. kötet. Nukleáris létesítmények telephelyének vizsgálata és értékelése. 7. melléklet az 1/2022. (IV. 29.) OAH rendelethez. 37 p.

NBSZ 8.

Nukleáris Biztonsági Szabályzatok, 8. kötet Nukleáris létesítmények megszüntetése. 8. melléklet a 1/2022. (IV. 29.) OAH rendelethez. 17 p. NBSZ 9.

Nukleáris Biztonsági Szabályzatok, 9. kötet Új nukleáris létesítmény tervezési és létesítési időszakára vonatkozó követelmények. 9. melléklet az 1/2022. (IV. 29.) OAH rendelethez. 27 p.

NBSZ 10.

Nukleáris Biztonsági Szabályzatok, 10. kötet. Nukleáris Biztonsági Szabályzatok meghatározásai. 10. melléklet az 1/2022. (IV. 29.) OAH rendelethez. 27 p.

Országos Atomenergia Hivatal (OAH) útmutatók

Nukleáris létesítmények biztonsági felügyelete

Az útmutatók száma előtti betűk magyarázata

A Üzemelő atomerőműre vonatkozó útmutatók F Kiegészített fűtőelem tárolóra vonatkozó útmutatók

K Kutatóreaktorokra vonatkozó útmutatók N Új atomerőműre vonatkozó útmutatók

N1.2. Új atomerőműi blokk létesítési engedélyezési dokumentációjának tartalmi és formai követelményei, Verzió száma:1, OAH, 2018. szeptember, p.: 35.

A1.5. Atomerőművi műszaki átalakítások felügyelete. Verzió száma:4, OAH, 2019. szeptember, p.: 94.

N1.11 Az új atomerőművi blokkok építményeinek építési engedélyezési dokumentációjának tartalmi és formai követelményei, Verzió száma:1, OAH, 2020. július, p.: 73.

AKFN1.11. Az NBSZ szerinti nukleáris építmények építési, bontási, átalakítási engedélyezési tervdokumentációjának tartalmi és formai követelményei. Verzió száma: 1. OAH, 2019. április, p.: 19.

AKFN1.11-1. sz. mell. A főbb vonatkozó nemzeti szabványok. p.:6.

AKF1.12. Nukleáris létesítmények építményei használatbavételének engedélyezési dokumentációja. Verzió száma: 1. OAH, 2018. február, p.: 49.

N1.12 Munkatér-határolás, talajszilárdítás és talajkiemelés engedélyezési dokumentációjának tartalmi és formai követelményei, Verzió száma:1, OAH, 2020. július, p.: 75.

AF1.34. Ajánlás atomerőmű és kiegészített üzemanyag átmeneti tárolására szolgáló létesítményeszerelési tervdokumentumainak kidolgozásához. Verzió száma: 2. OAH, 2020. június, p.: 65.

AKN1.56. Nukleáris létesítményekben üzemelő felvonók építészetiségi és - felügyeleti eljárása. Verzió száma: 1. OAH, 2018. november, p.: 48.

AKFN2.19. Hamisított és csalárd termékek kezelése. Verzió száma: 1. OAH, 2018. szeptember, p.: 14.

AKFNT1.48. Az INES minősítés elvégzésének módszertana nukleáris és radiológiai események esetén. Verzió száma: 1. OAH, 2018. december. 211 p.

3.1. Atomerőművi rendszerek és rendszerelemek biztonsági osztályba sorolásának alapelvei. Verzió száma: 3. OAH, 2016. március, p.: 18.

3.5. Atomerőmű villamos és irányítástechnikai rendszereinek és rendszerelemeinek tervezési követelményei. Verzió száma: 2. OAH, 2006. július, p.: 51.

A3.11. Atomerőművi valószínűségi biztonsági elemzések, Verzió száma:4., OAH, Budapest, 2021. november, 93 p. bizonytalanság

3.13. Az öregedési folyamatok figyelembevétele a tervezés során. Verzió száma: 3. OAH, 2016. február, p.: 55.

A3.15. Berendezések környezeti minősítésének tervezési szempontjai az üzemelő atomerőművekben. Verzió száma:4, OAH, 2019. augusztus, p.: 65.

A3.29. Üzemelő atomerőművi nukleáris környezetben levő beton- és vasbeton szerkezetek, Verzió száma:2, OAH, 2020. január, p.: 49.

A3.32. Determinisztikus biztonsági elemzések üzemelő atomerőművekben, Verzió száma: 2, OAH, 2018. december, p.: 75.

N3a.1. Új atomerőművi rendszerek és rendszerelemek biztonsági osztályba sorolásának alapelvei. Verzió 1. OAH, Budapest. 44 p.

N3a.2. Új atomerőművi üzemeltetési feltételei és korlátai. Verzió 1. OAH, Budapest. 34 p.

N3a.11. Új atomerőműre vonatkozó valószínűségi alapú biztonsági elemzések, Verzió száma:2., OAH, Budapest, 2021. november, 111 p.

N3a.12. Általános tervezési elvek új atomerőművek és rendszereinek tervezéséhez. OAH, Budapest, 89 p.

N3a.13 Új atomerőmű öregedés- és élettartam kezelés tervezése, Verzió száma:1, OAH, 2015. október, p.: 87.

N3a.15 A nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerelemek környezetállósági minősítésének módszere és folyamata az új atomerőművek tervezése során, Verzió száma:1, OAH, 2015. október, p.: 70.

N3a.29 Új atomerőművi nukleáris környezetben lévő beton- és vasbetonszerkezetek, Verzió száma 1, OAH, 2021. november, p.: 78.

N3a.32. Új atomerőműre vonatkozó determinisztikus biztonsági elemzések, Verzió száma: 1, OAH, 2015. október, p.: 84.

N3a.33. Súlyos balesetek determinisztikus alapú biztonsági elemzései, Verzió száma: 2, OAH, 2020. június, p.: 49.

N3a.34 Új atomerőművek biztonsági jelentései, Verzió száma: 2, OAH, 2020. június, p.: 221.

N3a.35. Új atomerőmű tervezése során alkalmazandó általános gépészeti ajánlások. OAH, Budapest. 57 p.

N3a.38. Új atomerőmű sajátos, nukleáris építményeinek és építményszerkezteinek tervezése, Verzió száma:1, OAH, 2018. augusztus, p.: 60.

N3a.39. Új atomerőmű konténmentjének építészeti tervezése, Verzió száma:1, OAH, 2015. október, p.: 63.

N3a. 43. Új atomerőműben használható felületkezelési és dekontamináló technológiák tervezése, Verzió száma: 1, OAH, 2015. október, p.: 29.

N3a.46. Új atomerőművek biztonságának ellenőrzése eltérő számítási módszerekkel független elemzések alapján, Verzió száma: 1. OAH, 2018. augusztus, p.: 31.

4.4. Műszaki sugárvédelem és radioaktív hulladékkezelés az atomerőművek üzemeltetése során. Verzió száma: 2. OAH, 2005. december, p.: 61.

4.17. Atomerőmű baleset-elhárítási készültsége. Verzió száma: 1. OAH, 2006. január, p.: 30.

N9.2 Új atomerőmű tervezésének minőségirányítási rendszere. Verzió száma:2, OAH, 2020. március, p.: 95.

N9.3 Szabványok használatának szabályai új atomerőmű létesítése során, Verzió száma:1, OAH, 2015. november, p.: 15.

Nukleáris létesítmények, nukleáris és más radioaktív anyagok, ionizáló sugárzást létrehozó berendezések védettségi felügyelete

FV-2. Részletes követelményszintek az elrettentés fizikai védelmi funkció rendszereihez és rendszerelemeihez. Verzió száma: 3. OAH, 2019. június, p.: 13.

FV-5. Fizikai védelmi zónák meghatározása. Verzió száma: 3. OAH, 2019. június, p.: 13.

FV-6. Őrzésvédelmi kultúra. Verzió száma: 2. OAH, 2016. február, p.: 22.

FV-8. A nukleáris létesítmények (kivéve 1 MW hőteljesítmény alatti reaktorral szerelt nukleáris létesítmények), valamint az átmeneti és végleges radioaktív hulladéktárolók fizikai védelmének tervezése. Verzió száma: 3. OAH, 2018. október, p.: 29.

FV-17. Létesítendő nukleáris létesítményre, valamint létesítendő átmeneti és végleges hulladéktárolókra vonatkozó fizikai védelmi ajánlások. Verzió száma: 2. OAH, 2018. október, p.: 15.

FV-18. Nukleáris létesítmények programozható rendszereinek védelmi követelményei. Verzió száma: 3. OAH, 2020. március, p.: 104.

FV-19. Létesíteni tervezett nukleáris létesítmény, valamint létesíteni tervezett átmeneti és végleges radioaktív hulladék-tároló telephelyének a tervezési alapfenyegetettség meghatározása iránti kérelemhez szükséges fizikai védelmi szempontú elemzése nukleáris létesítményre, valamint létesítendő átmeneti és végleges hulladéktárolókra vonatkozó fizikai védelmi ajánlások. Verzió száma: 3. OAH, 2018. október, p.: 16.

Békés célra történő alkalmazás felügyelete

Sg-2. Új atomerőművi blokkok biztosítéki (safegards) követelményeinek teljesítéséhez. Verzió száma: 2. OAH, 2020. július, p.: 46.

Sv-17. Jegyzet alapfokozatú sugárvédelmi képzésekhez. Verzió száma: 1. OAH, 2019. november, p.: 61.

16.10. A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség dokumentumai

A fejezetben az értelmező szótárak, a főbb biztonsági és az élettartam menedzsmenttel kapcsolatos dokumentumok listája található.

IAEA (2023) Integrated life cycle risk management for nuclear power plants. Nuclear energy series No. NR-T-2.15. Vienna, International Atomic Energy Agency. 79 p. ISBN: 978-92-0-101523-5.

IAEA (2022) Introduction to systems engineering for the instrumentation and control of nuclear facilities. Nuclear energy series No. NR-T-2.14. Vienna, International Atomic Energy Agency. 159 p. ISBN: 978-92-0-620-0.

IAEA (2021) Asset management for sustainable nuclear powerplant operation. Nuclear energy series No. NR-T-3.33. Vienna, International Atomic Energy Agency. 83 p. ISBN: 978-92-0-126820-4.

IAEA (2020) Management of nuclear power plant projects. Nuclear energy series No. NG-T-1.6. Vienna, International Atomic Energy Agency. 79 p. ISBN: 978-92-0-128622.

IAEA (2019) Safety glossary. Technology used in nuclear safety and radiation protection. 2018 edition. Vienna, International Atomic Energy Agency. 261 p. ISBN: 978-92-0-104718-2.

IAEA (2019B) Design of the reactor containment and associated systems for nuclear power plants, Specific safety guide. 88 p. No. SSG-53. ISBN: 978-92-0-102819-8.

IAEA (2018) Safety Standards. Vienna, International Atomic Energy Agency. 64 p.

IAEE (2016) Safety of nuclear power plants: design. Safety Standards Series. Specific safety requirements. No. SSR-2/1(Rev. 1). Vienna, International Atomic Energy Agency. 71 p. ISBN 978-92-0-109315-8.

IAEA (2016B) Safety assessment for facilities and activities. Safety standards. General safety requirements. No. GSR Part 4 (Rev. 1). Vienna, International Atomic Energy Agency. 38 p. ISBN 978-92-0-109115-4.

IAEA (2016C) Safety of nuclear power plants: commissioning and operation. Safety standards. Specific safety requirements. No. SSR-2/2 (Rev. 1). Vienna, International Atomic Energy Agency. 47 p. ISBN 978-92-0-109415-5.

IAEA (2015) Nuclear security series glossary. Version 1.3, working material. Vienna, International Atomic Energy Agency. 33 p.

IAEA (2013) International safeguards in nuclear facility design and construction. Safety standards series No. SSRG-30, 24 p., ISBN 978-92-0-115413-2.

IAEA (2012) Low level event and near miss process for nuclear power plants: Best practices. Safety Reports Series. Vienna, International Atomic Energy Agency. 11 p. ISBN 978-92-0-126610-1.

IAEA (2008) Nuclear Energy Basic Principles. Nuclear Energy Series No. NE-Bp. Vienna, International Atomic Energy Agency. 10 p. ISBN 978-92-0-112608-5.

IAEA (2007) Safeguards glossary. Vienna, International Atomic Energy Agency. 218 p. ISBN 92-0-111902-X.

IAEA (2006) Plant life management for long term operation of light water reactors. Technical Report Series no. 448. International Atomic Energy Agency, Vienna, 123 p. ISBN 92-0-101506-2.

IAEA (2006B) Fundamental safety principles. Safety Standard Series SF-1. International Atomic Energy Agency, Vienna, 18 p. ISBN 92-0-110706-4.

IAEA (2003) Radioactive waste management glossary. Vienna, International Atomic Energy Agency. 54 p. ISBN 92-0-105303-7.

IAEA (2002) Safe and effective nuclear power plant life cycle management towards decommissioning. IAEA TECDOC-1305. Vienna, International Atomic Energy Agency. 30 p. ISBN: 92-0-113002-3.

IAEA (1999) Basic safety principle for power plant. 75-INSAG-3 Rev. 1. INSAG-12. Vienna, International Atomic Energy Agency. 97 p. ISBN: 92-0-102699-4.

A sorozat keretében eddig megjelent kiadványok

2017.

1.	NÉMETH András, MILÁVECZ Richárd	Iparban használatos vízminőségek
2.	SZILÁGYI Zsombor Dr, SZUNYOG István Dr.	Mérések a gáziparban
3.	BARNA Lajos Dr., EÖRDÖGHNÉ MIKLÓS Mária Dr., SZÁNTHÓ Zoltán, BALLA József Dr.	A biztonságos ívóvízellátás megteremtésének tervezési eszközei
4.	BORBÁS Lajos Dr.	Felépítés elvű (additív) gyártástechnológiák a gépészetben
5.	BERENCSI Miklós, BEREZKY Ákos, HORVÁTH László, KOVÁCS Gergely, MIHÁLFFY Krisztina	Kerékpárosbarát közlekedéstervezés
6.	TÜDŐS Tibor, VARJÚ György Dr., PETRI Kornél Dr., GÁBOR András	A csillagpontkezelés legújabb külföldi és hazai eredményei (Útmutató és tervezési segédlet)
7.	GARBAI László Dr., JASPER Andor Dr., VÁRADI András	Fűtési és használati melegvíz-igények kockázati elvű méretezése példákkal
8.	KÁDI Ottó, DOHÁNY Máté, JÓZSA Bálint, LÁSZLÓ Csaba Tibor, JAKKEL Ottó	A közúti vasutak (villamos) tervezésével kapcsolatos kézikönyv

2018.

9.	BLAZSOVSZKY László	A gázfogyasztó készülékek égéstermék elvezetésével kapcsolatos szabályozások hiányosságai és ellentmondásai
10.	CSORDÁS Szilveszter, FORGÁCS Lajos Dr., PÓLYA Endre ifj., RÉV Zoltán, UDVARDY Péter	Orvostechnológiai továbbképzés ismeretanyaga
11.	NÁDASDY Tamás, EGYHÁZY Zita, KOVÁCS Ákos Sándor, SZECSŐ Dániel Géza	A közúti biztonsági audit (KBA) jelentések elkészítésének alkalmazási segédlete – A közúti infrastruktúra közlekedésbiztonsági kezeléséről szóló jogszabályhoz és útügyi műszaki előíráshoz kapcsolódó értelmezési, kidolgozási és elfogadtatási javaslatrendszer
12.	SZILÁGYI Zsombor Dr., HORÁNSZKY Beáta	Földgáz kereskedelem (mérnöki segédlet)
13.	SZILÁGYI Zsombor Dr.	Az energiahordozók jövője – kőolaj, földgáz, megújulók
14.	S. VÍGH Judit, DOHÁNY Máté	Magános közlekedők baleseti súlyosságának csökkentése mobil applikáció segítségével
15.	BALIKÓ Sándor Dr., CSŰRÖK Tibor Dr., NOVÁK Dániel, ORBÁN Tibor, ZSEBIK Albin Dr.	Ötletlapok I. – Energiahatékonyság növelő ötletek egyszerű energetikai és gazdasági számításai
16.	DARABOS Zoltán, KOLTAI Henrik, SZABÓ Tamás, SZÁSZ Béla, VAJDA Sándor	Felvonók felújítása és átalakítása – Műszaki segédlet
17.	TÜDŐS Tibor, KRUPPA Attila	Alapozásföldelők új tervezési elvei és kivitelezési módszerei – Tervezési segédlet és kivitelezési útmutató
18.	FENYVESI Zsolt	Tűzvédelmi tervek tartalmi szabályainak átdolgozása

- | | | |
|-----|--|---|
| 19. | GÁBORI László Dr., BEINSCHRÓTH József Dr., NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás | Nagyméretű informatikai beruházásoknál (fejlesztéseknél) ajánlott szoftveroldali tervdokumentációk tartalmi elemeinek meghatározása (I. – II. kötet) |
| 20. | DIVÓS Ferenc Dr. | Az élő fák stabilitása – mérnöki megközelítés – Élő fák, mint teherhordó faszerkezetek |
| 21. | KARÁCSONYI Zsolt Dr. | Faanyagok tartós szilárdsága |
| 22. | BARNA Lajos Dr., ERDEI István, JASPER Andor Dr., TAKÁCS Gyula | Segédlet épületek csatorna-berendezéseinek tervezéséhez |
| 23. | ANTÓK Péter István, FÜZÉR Ferenc, SÁRKÖZI András | Fényvezető kábelszakaszok műszaki-minőségi ajánlás gyűjteménye |
| 24. | JANCSÓ Béla, KULCSÁR Alexandra Dr., NÉMETH Gábor, VÍMI Zoltán Dr., DÉRI Lajos, SZIMANDEL Dezső | Vízjogi engedélyezési eljárással kapcsolatos dokumentációk és engedélyeztetéssel kapcsolatos követelmények a 2018.01.01-én hatályba lépett 41/2017. (XII.29.) BM rendelet alapján |
| 25. | TAKÁCS Bence Dr., SIKI Zoltán Dr., ÉGETŐ Csaba Dr., BÉNYI László | Mérnökgeodéziában alkalmazott alapponthálózatok – A jó gyakorlat bemutatása mintapéldákkal |
| 26. | MÓCZÁR Balázs Dr., LAUFER Imre, TÓTH Gergő, WOLF Ákos | Korszerű támszerkezetek tervezése |
| 27. | HALÁSZ Györgyné Dr., CSERVENYÁK Gábor, TUCZAI Attila, VIRÁG Zoltán | Különböző funkciójú épületek klimatechnikája II. |
| 28. | KÁDI Ottó, JÓZSA Bálint | Kerékpáros balesetek létesítmények szerinti vizsgálata |
| 29. | GARBAI László Dr., JASPER Andor Dr., PELLER József Bendegúz | Hőteljesítménymérési tényező alkalmazása távhőrendszerek optimális szabályozásának modelljében |
| 30. | GARBAI László Dr., SÁNTA Róbert Dr., JASPER Andor Dr. | A kompresszoros hőszivattyúk optimalizálása – Tervezés és üzemeltetés |
| 31. | LADÁNYI Gábor Dr. | Diagnosztika a karbantartásban |
| 32. | MÉSZÁROS János, MOLNÁR Tibor, RITZL András | KIÜRÍTÉSI ÉS MENEKÜLÉSI ÚTVONALBA ÉPÍTETT AJTÓK tervezési segédlet (2018) |

2019.

- | | | |
|-----|---|---|
| 33. | BLAZSOVSZKY László | Földgáz elosztóvezetékek üzemeltetése |
| 34. | DR. SZILÁGYI Zsombor | A megújuló energiahordozók jövője Magyarországon |
| 35. | FORGÁCS Lajos Dr., HAIDEGGER Tamás Dr., PÓLYA Endre ifj. | Új fejlesztések, innovatív megoldások az orvostechnológia terén |
| 36. | VARRÓ Beáta, KIS András Dr. | Magyarországon előforduló, épületekbe beépített faanyagokat károsító gombák vizsgálata és azonosítása DNS diagnosztikával |
| 37. | MANNINGER Marcell, SZEPESHÁZI Attila, SCHEURING Ferenc, MOLNÁR György | Munkatér határoló szerkezetek |
| 38. | KORSÓS András, RÁDULY Zsolt | A közterületi és belterületi térfigyelő kamerarendszerek tervezési irányelvei |
| 39. | GERGELY Edit, BEZEGH András Dr. | Módszertani útmutató az üvegházhatású gázok közvetlen és közvetett kibocsátásának számítására |

- | | | |
|-----|---|---|
| 40. | BEZEGH András Dr., BITE Pálné Dr.,
GERGELY Edit | Városi környezetvédelem (Fenntartható és okos városok) |
| 41. | GÓDOR Balázs, KÁSA László Dr.,
SZÉKELY Bence | Híddaruk méretezési segédlete (2019.) |
| 42. | FÜRJES Andor Tamás, KOTSCHY
András, NAGY Attila Balázs, CSOTT
Róbert | Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló
szituációkban |
| 43. | KARÁCSONYI Zsolt Dr. | Faanyagok tartós szilárdsága
Faanyagok szilárdságának változása az idő függvényében |
| 44. | BALIKÓ Sándor Dr., ORBÁN Tibor,
VARGA Péter, ZSEBIK Albin Dr. | Ötletlapok II. – Energiahatékonyság növelő ötletek
egyszerű energetikai és gazdasági számításai |
| 45. | PRIMUSZ Péter, PhD. | Hajlékony útpályaszerkezetek méretezése
talajstabilizációk figyelembevételével |
| 46. | NÉMETH Balázs, HÁMORI Sándor,
KOSTYÁK Attila, VÍGH Gellért | Különböző funkciójú épületek klímatechnikája III.
Segédlet ipari épületek lég- és klímatechnikai
rendszereinek tervezése |
| 47. | JANCSÓ Béla, KAVECZKI Gergely,
KÓCZÁN Gábor, LABORCZI Tamás,
KNOLMÁR Marcell, RAUM László | Csapadékvízgazdálkodás tervezési követelményei
Hogyan tervezzünk városi csapadékelvezető rendszereket |
| 48. | DOHÁNY Máté, SCHVANNER
Norbert | Kerékpárosok sebességének felülvizsgálata jelzőlámpás
csomópontokban |
| 49. | JÓZSA Bálint, S. VÍGH Judit | Sebességcsökkentés hatásainak vizsgálata gyorsforgalmi
utakon |
| 50. | ZSEBIK Albin Dr., NOVÁK Dániel | Projektlapok I. – Energiahatékonyság növelő javaslatok
projektlapjai |
| 51. | MÓGA István Dr. | Beruházási projektek szabályozási és szabvány
környezete, Tervezési követelmények meghatározása |
| 52. | GÁBORI László Dr., BEINSCHRÓTH
József Dr., NÓGRÁDI Gábor,
RÁTKAY Tamás | Informatikai Tervező szakmai minősítő rendszere
(Informatikai szakmai terület illesztése a Mérnök Kamarai
működési rendbe és rendszerekbe)
I. kötet: Konceptió és modell
II. kötet: Modell illesztése
III. kötet: Tudástár |
| 53. | VIRÁG Zoltán, GYURKOVICS Zoltán,
SZAKÁL Szilárd, VIRÁG Zsolt,
ORCSI Attila | Országos Tűzvédelmi Szabályzat épületgépész
értelmezése a szakmai gyakorlatban
Segédlet a gyakorló épületgépész mérnökök számára I. |

2020.

54.	KISS Jenő Dr., CSERMELY Gábor	JAVASLAT az egyszerű bejelentésű lakóépület megvalósításának – tervezés építés – módszerére
55.	SZILÁGYI Zsombor Dr.	A hidrogén a környezetbarát energiahordozó, Hidrogén az energetikában
56.	VARGA Tamás, SZEDENIK Norbert Dr., KOVÁCS Károly Dr., KRUPPA Attila, KULCSÁR Lajos, KAPITOR György, TURI Ádám	A nem norma szerinti villámvédelem egységes műszaki követelményrendszerének kialakítása és javaslat a teljes villámvédelmi szabályrendszer jövőbeli egységesítésére
57.	KÁDI Ottó	A gyalogosközlekedés közúti keresztezései
58.	MOLNÁR Szabolcs	„Hulladékból konnektorba” A települési szilárd hulladék energetikai hasznosításának lehetőségei
59.	VÁRDAI Attila	Segédlet szabadidős létesítmények tartószerkezeti tervezéséhez
60.	BEJÓ László Dr.	Szénlábnyom-elemzés készítése a faiparban
61.	JANCSÓ Béla, NÉMETH Gábor, SZIMANDEL Dezső	Szakmai útmutató vízellátási-művelési tervezők számára a 2020 január 1-én hatályba lépett „VIZEK keretrendszer” használatához
62.	FELLEGI Zsóka, KARAFI Balázs, KOCH Edina, KOVÁCS Gábor, MURINKÓ Gergő, TÓTH Gergely József	Munkagödrök és földművek víztelenítése
63.	HOLÉCZY Ernő, OLÁH Róbert, SIKI Zoltán Dr., TAKÁCS Bence Dr., TÓTH Zoltán Dr., VARGA Tibor	Módszertani útmutató az elavult ingatlan-nyilvántartási térképek korszerű technológiákkal végzett felújításához
64.	GÁBORI László Dr., MOLNÁR Bálint Dr., NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás	Az Informatikai Tervező tervezési segédlete
65.	NÁDASDY Tamás, TOMASCHEK Tamás, PALÁSTY István, SZECSŐ Dániel Géza	Dinamikus forgalomirányítás tervezői segédlete gyorsforgalmi úthálózat esetén
66.	LENGYEL István	Szakmai útmutató szolgalmi jogok alapításához (mérnöki segédlet)
67.	NÉMETH Balázs, SZLOVÁK Krisztián, VÍGH Gellért	Épületgépészeti tervezéshez praktikus, gyakorlati adatbázis
68.	FÜRJES Andor Tamás, BORSINÉ Arató Éva, NAGY Attila Balázs, ILLYÉS László, BORSI Gergely	Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban (példatár)
69.	BORBÁS Lajos Dr., GONDA Zoltán	Optikai feszültségvizsgálat – Kísérleti eljárás a konstrukció fejlesztésére, szerkezetek anyagfelhasználásának és teherviselésének optimalizálására

2021.

70.	BLAZSOVSZKY László	A gázipar és a kéményseprő-ipar határterületeinek szabályozási anomáliái a szakmagyakorlók és a felhasználók szemszögéből
71.	FORGÁCS Lajos Dr., NAGY Gábor, RÉV Zoltán	Kórháztervezés új szempontjai a 21. században - Korszerű kórházak infrastrukturális egységei

- | | | |
|-----|---|--|
| 72. | HOLÉCZY Ernő, KISS Albert Miklós, KOVÁCS István, TAKÁCS Bence Géza Dr., TÓTH Zoltán Dr. | M.2.-2021. Mérnökgeodéziai tervezési segédlet |
| 73. | BEJÓ László Dr. | Az ipar 4.0 alkalmazási lehetőségei a faipar területén |
| 74. | BORBÉLY Dániel, HUDACSEK Péter, KARNER Balázs, KOVÁCS László, SÁNDOR Csaba | Monitoring, a geotechnikai kockázatkezelés eszköze |
| 75. | FELFÖLDI Krisztina, JÁMBOR András, TÓTH Sándor, BÜKI Gábor, GÓDOR Balázs | Emelőgépek időszakos vizsgálatának eljárásrendje |
| 76. | GYURKOVICS Zoltán, RÉBAY Lajos, NAGY Bernát | Szakmai útmutató az épületgépész felelős műszaki vezetők és műszaki ellenőrök számára |
| 77. | ZSEBIK Albin Dr., NOVÁK Dániel, PAPP Ábrahám | Hulladékhő hasznosítás - hűtés és fűtés összekapcsolása
Segédlet az elemzéshez és gyakorlati példák bemutatása |
| 78. | CZINE Ferenc, HIRKÓ György | Elektromos meghajtású mikromobilitási eszközök -
Jellemző paraméterek |
| 79. | KALMÁR Tamás, LÁNYI Péter Dr., HÓZ Erzsébet | Kerékpárút hálózatok vizsgálata a fejlesztések és
úthasználók tapasztalatai alapján |
| 80. | VARGA Tamás, FARKAS Péter János, TOKODY Dániel Dr., ZSARNOVSZKI Attila, MÉSZÁROS Tamás, VERESS Árpád | Építményvillamossági tervezés robbanásveszélyes
környezetben |
| 81. | VONA Márton Dr., BALATONYI László Dr., TÉCSŐY István | Dombvidéki víz visszatartás, kisvízfolyások szabályozása
természet közeli megoldásokkal
Kisléptékű vízvisszatartás, kistelepülés-léptékű
vízmegtartó megoldások |
| 82. | ZANATHY Valéria, BUZÁS Györgyi, TÓTH László | Acélszerkezetek korrózió elleni védelme – Acélszerkezetek
korrózió elleni védelmére vonatkozó szabványok,
előírások, szakami tapasztalatok összefoglalása |
| 83. | JÓZSA Bálint, DOHÁNY Máté | DDI, avagy a fordított gyémánt csomópontok vizsgálata és
magyarországi alkalmazhatósága |
| 84. | SZÉPSZÓ Gabriella, ALLAGA-ZSEBEHÁZI Gabriella, LAKATOS Mónika, SZENTES Olivér, TAKSZ Lilla, SELMECZI János Pál, CZIRA Tamás Dr., CSÓKA Gergely, BAKA György | Éghajlatvédelmi vizsgálatok módszertana és az azt
megalapozó adatbázisok alkalmazása |
| 85. | ZSIGMONDI András, MARIÁN Gábor, WÉBER László | A műszaki egyenértékűség és helyettesítő termék
egyenértékűségének megállapítási módjai |
| 86. | NAGY János, HORVÁTH Rita, KAPITOR György, MERTLI Ferenc, PAPP Ábrahám, SITKU György, ZSEBIK Albin Dr. | Világítástechnika - segédlet az EKR dokumentáció
készítéséhez – Alapismeretek és mintapéldák |
| 87. | CSENDES János, VELLER Tamás | Épületautomatika – Összefüggésben az
Energiahatékonysági Kötelezettségi Rendszerrel |

2022.

88.	FÖLDI László József Dr., BERENCSI Bence	Ipari gépek CE jelölése és biztonsága az EU-s és hazai szabályozás tükrében
89.	SZILÁGYI Zsombor Dr., VADÁSZI Marianna Dr.	Irányelv új földgáz- és villamos energia szerződéskötéshez
90.	MÓCZÁR Balázs Dr., CSORBA Gábor, GRITSCH Ákos, KRISTON Gábor, MIHUCZ Tibor, SZENDEFY János Dr., SZILÁGYI Katalin	Segédlet ipari padlók geotechnikai és statikai tervezéséhez, kivitelezéséhez
91.	FELFÖLDI Krisztina, GÓDOR Balázs, NAGY Pál, RADVÁNYI G. Levente	G-D-36 Tanúsítvány kiadásához kompetencia-követelmények kidolgozása
92.	BUZÁS Zoltán, KÁLMÁN Miklós, BÖLSEI Tamás, LUKÁCS Tamás	A tervdokumentációk tartalmi és formai követelményeinek átdolgozása, különös tekintettel a Hír-Közmű bevezetésére. A Tervezés, Engedélyezés, Kivitelezés segédlet módosítása (92./1-2-3.)
93.	SIKI Zoltán Dr., CSEMNICZKY László, HOLÉCZYNÉ KAJTÁR Dóra, LEHOCZKY Máté, RÉPÁS Zoltán, TÓTH István	Szakmai útmutató digitális tervezési alaptérképek készítéséhez. A minőségi mérnöki munka segítése, a jó gyakorlat bemutatása, javaslat a térképek rétegszerkezetére és az alkalmazandó jelkulcsokra
94.	CSERMELY Gábor, TÓTH Péter	Szakmai útmutató a magasépítési kivitelezési munkák minőségellenőrzésére
95.	MARIÁN Gábor, ZSIGMONDI András	Az építési beruházások műszaki átadás-átvételi eljárása – Szakmai ajánlás az építési beruházások műszaki átadás-átvételi eljárására
96.	BARNA Sándor, MOLNÁR Tibor Dr.	Segédlet az AERMOD view szoftver használatához a légszennyező anyagok terjedési modellezéséhez
97.	BAKA György	A talajnak, mint természeti erőforrásnak a védelme a beruházások megvalósítása során
98.	BLAZSOVSZKY László	A gázipari szakmagyakorlók megváltozott felelőssége, hatásköre és a mindennapok gyakorlatának anomáliái a megváltozott jogszabályi környezetben
99.	FÜRJES Andor Tamás	Elektroakusztika elméleti és gyakorlati áttekintés
100.	RÁCZ Tibor, KUN Csaba, BALATONYI László Dr.	ITVT Integrált Települési Vízgazdálkodási Terv tervezési segédlet

2023.

101.	SZILÁGYI Zsombor Dr., BLAZSOVSZKY László	Az energiahordozók jövője
102.	BLAZSOVSZKY László	Szakmai útmutató felhasználási helyek gázellátását biztosító elosztóvezeték leágazásának létesítéséhez
103.	ÁKOSHEGYI György Dr., BORBÉLY Tibor, DIÓS András, EÖRDÖGH Zsolt	Medencés fürdők vízgépészeti tereinek tervezési szempontjai
104.	KISS Jenő dr., METZING Ferenc dr., CSERMELY Gábor, dr. HEGYI Dezső, KÖNCZÖL Gyula, DEZSŐ Zsigmond	Szakmai Útmutató az épületek, épületszerkezetek bontásához
105.	MÓGA István Dr.	Atomerőművi alapok

106.	BAK Edina, FEJES Gábor, HONTI Imre, HUDACSEK Péter, SCHELL Péter	Talajmechanikai laboratóriumi vizsgálatok, azok megtervezése és eredményeinek felhasználása a geotechnikai tervezői gyakorlatban
107.	EGRI Sándor, BUZÁS Zoltán	AutoCAD alapon készített tervdokumentációkból EHO szerinti XML fájl készítése (objektumsablon készítése)
108.	BONDOR Gabriella, CSORDÁS Szilveszter, KANOSIK Ilona, PÓLYA Endre, VARJÚ József	Szakmai ismeretek a jogosultsági vizsgára
109.	KAKUK Ilona	Az Informatikai Tervező Szakmai Útmutatója (109./1-2-3.)
110.	GIORIS Nikolaos, MENYHÁRT István Zsolt, OLÁH Róbert, TAKÁCS Bence dr., VASS Imre	Digitális mellékletek készítése az M.2 (2021.) mérnökgeodéziai tervezési segédlethez
111.	ZSIDAI László Dr., SARANKÓ Ádám Dr., SZABÓ Péter	Az additív technológiák terméktervezési és technológiai sajátosságai
112.	REINIGER Róbert, BARNA Sándor, BITE PÁLNÉ DR. PÁLFFY Mária, MIHICS Dalma, PINTÉR István	A Li-ion alapú akkumulátor, illetve akkumulátor részegység gyártás környezetvédelmi hatásági engedélyezésének környezetvédelmi alapkövetelményei - Szakmai segédlet környezetvédelmi szakértők, illetve hatásági eljárási szereplők részére
113.	TOKODY Dániel Dr., SCHOTTNER Károly, HADDAD Richárd, ADY László, ÁGOSTON Gergő, DRABIK Gergő, HAN Xiaoping, CSAPÓ Dániel, SZŰCS Marcell, FELHŐS Dávid Dr.	Napelemes rendszerekkel együttműködő energiatárolók létesítése
114.	GYIMESI András Dr., BOHÁCS Gábor Dr., SÜLLE Miklós, GÓDOR Balázs	Építőgépész mesteriskola tantárgyi felépítés és a hozzá kapcsolódó tematika kidolgozása
115.	BOROS János	Az atomerőművi rendszerek és rendszerelemek tervezésénél figyelembe vett elvek összefoglalása
116.	PRIMUSZ Péter Dr.	Hajlékony útpályaszerkezetek szükséges erősítőrétégének meghatározása roncsolásmentes teherbírásmérés alapján