

TARTALOM

I.

Előszó	11
1. Az atomreaktorokban lejátszódó legfontosabb folyamatok	13
1.1. A maghasadás, a láncreakció, neutronfizika	15
1.1.1. Az atomok felépítése, elemi részecskék	15
1.1.2. Az atommag stabilitása, kötési energia	19
1.1.3. Radioaktív bomlások	25
1.1.4. A radioaktivitás jellemzői	29
1.1.5. A sugárzás és az anyag kölcsönhatása	30
1.1.6. A neutron által gerjesztett magreakciók	34
1.1.7. Maghasadás	37
1.1.8. A neutronfizika alapjai	45
1.2. Az atomreaktorok működésének alapjai, vázlatos felépítésük, erőművek, kutatóreaktorok, egyéb reaktorok	53
1.2.1. Bevezetés	53
1.2.2. Kritikus rendszerek és speciális reaktorok	55
1.2.3. Kutatóreaktorok	58
1.2.4. Atomerőművek	60
1.3. A nyomottvizes reaktorok fizikájának alapjai	77
1.3.1. Energiatermelés a reaktorban	77
1.3.2. A reaktor szabályozása	85
1.3.3. A reaktor kampánya	92
1.4. A nyomottvizes reaktorok termohidraulikájának alapjai	97
1.4.1. A nyomottvizes reaktorok működése	97
1.4.2. A hőtermelés fizikai folyamata	99
1.4.3. Hőátadás a fűtőelem és hűtőközeg között	104
1.4.4. A termohidraulikai tervezés során alkalmazott megfontolások	108
1.4.5. Csőtöréses üzemzavarok, nyomás alatti hősokek	110
1.5. Üzemanyagciklus, fűtőelem-viselkedés a reaktorban	115
1.5.1. A fűtőelemek fő jellemzői, típusai	115
1.5.2. Az erőművi fűtőelemek előállítása	119
1.5.3. A fűtőelemben végbemenő folyamatok az üzemelés során	120

1.5.4. A fűtőelemek viselkedése üzemzavarok és balesetek során.	126
1.5.5. A kiegészített üzemanyag átmeneti tárolása	132
1.5.6. A nyílt üzemanyagciklus.	135
1.5.7. A kiegészített üzemanyag újrafeldolgozása, a zárt üzemanyagciklus	137
1.6. Aktivitásterjedés, környezeti hatások	143
1.6.1. Sugárvédelmi alapfogalmak	143
1.6.2. A terjedés időbeli fázisai és térbeli kibontakozása – radioaktivitás terjedése a létesítményen belül	151
1.6.3. A környezeti terjedés általános modellje	155
1.6.4. A terjedés modellegyenleteinek megoldása és alkalmazása	158
2. Az atomerőmű felépítése	175
2.1. Az atomerőmű feladata	177
2.1.1. Villamos hálózatok tulajdonságai	177
2.1.2. A magyar energiarendszer és az atomerőmű	178
2.2. Az atomerőmű főberendezései és az erőművi körfolyamat	181
2.2.1. Fő paraméterek	183
2.2.2. Lehűtő és maradványhő-eltávolító rendszerek	185
2.2.3. A primerkör a hermetikus térben	188
2.2.4. A reaktorhűtés és segédrendszerei.	195
2.2.5. Gőzfejlesztők, fő keringtetőszivattyúk és segédrendszerei	195
2.2.6. Gőzturbinák és segédberendezéseik	200
2.2.7. Kondenzátorok és segédrendszerei	203
2.2.8. Generátorok, transzformátorok és segédrendszerei	204
2.2.9. A primer- és szekunderköri hőhordozók tisztítása, a szivárgások kezelése.	207
2.3. Az erőmű teljesítményüzeme.	211
2.3.1. A normál üzemi rendszerek redundanciája	211
2.3.2. A mérés- és irányítástechnika rendszerei, feladatai	214
2.3.3. Hulladékkezelés.	223
3. A reaktorok tervezési biztonságának alapjai	233
3.1. Üzemállapotok, a normál üzem biztonsága	235
3.1.1. Az atomerőmű üzemmódjai	235
3.1.2. A normál üzem biztonsága	251
3.1.3. A normál üzem sugárvédelmi vonatkozásai	252
3.2. Biztonsági funkciók és biztonsági rendszerek	261
3.2.1. Biztonsági célok	261

3.2.2. Mélységében tagolt védelem	263
3.2.3. Az atomerőmű üzemállapotai	268
3.2.4. Biztonsági funkciók	270
3.2.5. Biztonsági rendszerek	273
3.3. A tervezési alap	289
3.3.1. A tervezési alap meghatározása és értelmezése	289
3.3.2. A tervezési alapba tartozás kérdésének eldöntése	295
3.3.3. A tervezés alapja rendszer- és a rendszerelemszinten	298
3.3.4. Az üzemi rendszerek tervezési alapja	299
3.3.5. A veszélyek figyelembevétele a tervezési alapban	300
3.3.6. Az események/körülmények/terhek kombinációja	303
3.3.7. A tervezési alap kiterjesztése	305
3.3.8. A balesetkezelés eszközeinek tervezési alapja	307
3.3.9. A bizonytalanságok kezelése	307
3.3.10. A biztonság szerinti differenciálás	309
3.3.11. A tervezésialap és az engedélyezési alapkapcsolata	309
3.3.12. A tervezési alaprendszeres felülvizsgálata	310
3.4. A determinisztikus tervezési elvek	313
3.4.1. Általános elvek	313
3.4.2. A fizikai gátak tervezésének főbb aspektusai	317
3.4.3. A biztonsági rendszerek tervezése	326
3.4.4. Belső és külső veszélyekre való tervezés	328
3.4.5. Tervezés tartalékokkal	328
3.4.6. Tervezés minőségre és megbízhatóságra	332
3.4.7. Tervezés élettartamra	341
3.4.8. Diszpozíciótervezés	342
3.4.9. Tervezés építhetőségre és leszerelhetőségre	346
3.4.10. Felelőségek és minőségbiztosítás a tervezés során	347
3.4.11. A műszaki üzemeltetés és a tervezés kapcsolata	350
3.5. A kockázat, a kockázattal kapcsolatos kritériumok	355
3.5.1. A veszély, a biztonság és a kockázat kapcsolata	355
3.5.2. A kockázati kritériumok jellemzői és kapcsolatai	370
3.5.3. Az atomerőművi kockázat változásának trendje	375

II.

4. A reaktorok üzemeltetési biztonsága	11
4.1. Az üzemeltetési biztonság alapjai	13
4.1.1. Az üzemeltetés minősége, emberi, szervezeti tényezők	13
4.1.2. A biztonsági kultúra	15
4.1.3. Saját üzemi tapasztalatok hasznosítása	20
4.1.4. Nemzetközi és iparági tapasztalatok hasznosítása	23
4.1.5. Független (hatósági és belső) felügyelet	26
4.1.6. Biztonsági mutató rendszer, mint az üzemeltetési biztonság komplex mérőeszköze	27
4.2. Zónatervezés és -monitorozás	31
4.2.1. Az atomerőművi üzemanyagciklus	31
4.2.2. Töltettervezés és biztonsági elemzés.	36
4.2.3. A zónatervezés fizikai modelljei	48
4.2.4. Mérések a zónamonitorozáshoz	56
4.2.5. Zónamonitorozó rendszer a legfontosabb paraméterek ellenőrzésére	65
4.3. Az üzemeltetés szabályai	71
4.3.1. Az üzemeltetési feltételek és korlátok	71
4.3.2. A normál üzemi állapotok ellenőrzése	75
4.3.3. Üzemzavar-elhárítási és baleset-kezelési eljárások	76
4.4. Karbantartás, felügyelet, ellenőrzés és próba	93
4.4.1. A karbantartás, felügyelet, ellenőrzés és próba program célja	93
4.4.2. Karbantartás	94
4.4.3. Felügyelet	98
4.4.4. Ellenőrzés.	102
4.4.5. Próba	108
4.4.6. A KFEP program végrehajtásának szempontjai	111
4.4.7. Az eredmények értékelése	113
4.5. Öregedéskezelés.	117
4.5.1. A leggyakoribb öregedési folyamatok	118
4.5.2. Az öregedési folyamatok figyelembevétele a tervezés során	129
4.5.3. Öregedéskezelés az atomerőmű üzemeltetésének időszakában	133

5. A biztonsági elemzések alapjai	139
5.1. DBA és BDBA elemzések	141
5.1.1. Az elemzések célja, az elemzések menete	141
5.1.2. A kezdeti események	144
5.1.3. Az elfogadási kritériumok	146
5.1.4. Az elemzésekben használt fizikai modellek, az elemzések eszközei	152
5.1.5. Az elemzési eszközök validációja, a bizonytalanságok modellezése	163
5.1.6. Az elemzések módszerei	168
5.1.7. Tipikus paksi elemzési eredmények	174
5.2. Súlyos baleseti elemzések	183
5.2.1. Reaktortartályon belüli és primerköri folyamatok	183
5.2.2. Konténmentfolyamatok	190
5.2.3. A hasadási termékek transzportja	195
5.2.4. A súlyos baleseti elemzéshez használt kódok	197
5.2.5. Egy kiválasztott súlyos baleseti folyamat bemutatása	200
5.2.6. Balesetkezelés	204
5.3. PSA-1 és -2 valószínűségi elemzések	209
5.3.1. PSA-1 valószínűségi elemzések	209
5.3.2. PSA-2 valószínűségi elemzések	242
5.4. A külső veszélyek hatásának elemzése	259
5.4.1. A külső veszélyekkel szembeni biztonság alapkérdései	259
5.4.2. A biztonsági elemzés tárgyát képező külső veszélyek	260
5.4.3. A külső veszélyekkel szembeni biztonság elemzésének feladatai	261
5.4.4. A külső veszéllyel szembeni biztonság determinisztikus elemzése	262
5.4.5. A veszélyekkel szembeni tartalék determinisztikus elemzése	264
5.4.6. A külső veszéllyel szembeni biztonság valószínűségi elemzése	270
5.4.7. Az elemzések sajátosságai	275
5.4.8. A normál teljesítményüzemtetől eltérő állapotok elemzése	277
5.4.9. Az öregedés hatása a külső veszélyekkel szembeni biztonságra	277
5.4.10. Példa – a földrengésbiztonság elemzése	278
5.4.11. Példa – a repülőgép-rázuhanás elemzése	283

5.4.12. Az elemzési módszerek összehasonlítása	286
5.5. Forrástag, aktivitásterjedés az erőműben és a környezetben, az egészségügyi hatások értékelése	293
5.5.1. Forrástag.	295
5.5.2. Aktivitásterjedés az épületen belül	301
5.5.3. Aktivitásterjedés a környezetben.	308
5.5.4. Kibocsátás- és környezetellenőrzés	314
5.5.5. A radioaktív kibocsátások következményei	316
5.5.6. Az elemzések során alkalmazott terjedés- és dózisszámító programok.	317
6. A reaktorbiztonság jogi keretei	323
6.1. Törvényi és jogszabályi háttér, a hatóság és az engedélyes felelőssége	325
6.1.1. A jogszabályi háttér.	328
6.1.2. A hatóság függetlensége és szerepe	338
6.1.3. Az engedélyesek biztonságért való felelősségének elsődlegessége.	339
6.2. Biztonsági jelentések	341
6.2.1. A biztonsági jelentések célja és fajtái	341
6.2.2. Az Előzetes Biztonsági Jelentés.	341
6.2.3. A Végleges Biztonsági Jelentés	342
6.2.4. Rendszeres jelentések	345
6.2.5. Eseti jelentések.	347
6.3. Nemzetközi szervezetek és egyezmények.	351
6.3.1. A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ).	351
6.3.2. Az OECD Nukleáris Energia Ügynökség	360
6.3.3. Az Európai Nukleáris Biztonsági Hatóságok Csoportja (ENSREG).	363
6.3.4. Az európai országok hatóságainak egyesülete (WENRA) . . .	364
Rövidítések jegyzéke	367
Utószó	371

ELŐSZÓ

A nemzetközi és immár a hazai szakirodalom bővelkedik olyan kiadványokban, amelyek alkalmasak arra, hogy egyetemi hallgatók és kezdő szakemberek, valamint a megfelelő előképzettséggel rendelkező laikus érdeklődők megérthessék, megtanulhassák az atomerőművek, az atomreaktorok alapvető fogalmait, az ezekben a berendezésekben lejátszódó legfontosabb folyamatokat. Ezek iránt a szakkiadványok iránt nem csekély az érdeklődés, főképpen azért, mert az atomerőművek társadalmi megítélése minden szempontból (az energiaellátás biztonsága és gazdaságossága, környezetvédelem, a társadalom felelőssége stb.) fontos kérdésnek minősül. E könyv szerzői azonban úgy gondolják, hogy a társadalom számára legizgalmasabb kérdéskörben, nevezetesen az atomerőművek, atomreaktorok biztonsága terén viszonylag kevés a hozzáférhető szakirodalom.

Éppen ezért az atomerőművek, atomreaktorok biztonságával foglalkozó hazai szakemberek egy csoportja elhatározta, hogy jelen könyvben megpróbálják összefoglalni a biztonsággal kapcsolatos tudnivalókat.

A könyv összeállítása során több nehézség merült fel. A könyv szerτεágazó biztonsági kérdésekről szól, számos szerzője van, akik az egyes fejezeteknek megfelelő területen elismert szakemberek. Ugyanakkor szinte kivétel nélkül olyan szakemberek, akik mint kutatók vagy műszaki szakemberek dolgoznak és így viszonylag kevés oktatási tapasztalatuk van. Bár a könyv írását egy szerkesztőbizottság szervezte és hangolta össze, a fejezetek szerzői lényegében önállóan döntöttek arról, hogy milyen mélységben fejtik ki mondanivalójukat. További, az egyes fejezetekben különféleképpen megoldott problémát jelentett az, hogy az ismertetés mennyire legyen általános és mennyire vonatkozzék a paksi atomerőműre. Az ideális az lenne, ha minden fejezet kellő általánosságban mutatná be a témát és egyben paksi példákat is használna. Ez a törekvés – a dolog természeténél fogva – nem sikerült egyformán, egyes fejezetek talán túl általánosak, mások túl Paks-centrikusak.