



## **A3.6. sz. útmutató**

# **Atomerőművi üzemanyag tervezése**

Verzió száma:

**4.**

(Új, műszakilag változatlan kiadás)

**2018. december**

Kiadta:

---

Fichtinger Gyula  
az OAH főigazgatója  
Budapest, 2018

A kiadvány beszerezhető:  
Országos Atomenergia Hivatal  
Budapest

## FŐIGAZGATÓI ELŐSZÓ

Az Országos Atomenergia Hivatal (a továbbiakban: OAH) az atomenergia békés célú alkalmazása területén működő, önálló feladat- és hatáskörrel rendelkező országos illetékességű központi államigazgatási szerv. Az OAH-t a Magyar Köztársaság Kormánya 1990-ben alapította.

Az OAH jogszabályban meghatározott közfeladata, hogy az atomenergia alkalmazásában érdekelt szervektől függetlenül ellássa és összehangolja az atomenergia békés célú, biztonságos alkalmazásával, így a nukleáris és radioaktív hulladék-tároló létesítmények és anyagok biztonságával, nukleáris veszélyhelyzet-kezeléssel, nukleáris védelemmel kapcsolatos hatósági feladatokat, valamint az ezekkel összefüggő tájékoztatási tevékenységet, továbbá javaslatot tegyen az atomenergia alkalmazásával kapcsolatos jogszabályok megalkotására, módosítására és előzetesen véleményezze az atomenergia alkalmazásával összefüggő jogszabályokat.

Az atomenergia alkalmazása hatósági felügyeletének alapvető célkitűzése, hogy az atomenergia békés célú felhasználása semmilyen módon ne okozhasson kárt a személyekben és a környezetben, de a hatóság az indokoltnál nagyobb mértékben ne korlátozza a kockázatokkal járó létesítmények üzemeltetését, illetve tevékenységek folytatását. Az alapvető biztonsági célkitűzés minden létesítményre és tevékenységre, továbbá egy létesítmény vagy sugárforrás élettartamának minden szakaszára érvényes, beleértve létesítmény esetében a tervezést, a telephely-kiválasztást, a gyártást, a létesítést, az üzembe helyezést és az üzemeltetést, valamint a leszerelést, az üzemben kívül helyezést és a bezárást, radioaktív hulladék-tárolók esetén a lezárást követő időszakot, radioaktív anyagok esetén a szóban forgó tevékenységekhez kapcsolódó szállítást és a radioaktív hulladék kezelését.

Az OAH a szabályzati követelmények teljesítésének módját az atomenergia alkalmazóival egyeztetett módon, világos és egyértelmű ajánlásokat tartalmazó útmutatókban fejti ki, azokat az érintettekhez eljuttatja és a társadalom minden tagja számára hozzáférhetővé teszi. Az atomenergia alkalmazásához kapcsolódó nukleáris biztonsági, védelemmel és non-proliférációs követelmények teljesítésének módjára vonatkozó útmutatókat az OAH főigazgatója adja ki.

Az útmutatók alkalmazása előtt mindig győződjön meg arról, hogy a legújabb, érvényes kiadást használja-e! Az érvényes útmutatókat az OAH honlapjáról ([www.oah.hu](http://www.oah.hu)) töltheti le.

## ELŐSZÓ

Az atomenergia békés célú, biztonságos alkalmazására vonatkozó legmagasabb szintű szabályozást az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény (a továbbiakban: Atv.) tartalmazza.

A nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről szóló rendelkezéseket a 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet (a továbbiakban: Rendelet) és mellékletei, a Nukleáris Biztonsági Szabályzatok (a továbbiakban: NBSZ) határozzák meg.

A nukleáris biztonsági követelmények és rendelkezések betartása mindazok számára kötelező, akik az Atv. 9. § (2) bekezdése szerinti folyamatos hatósági felügyelet alatt állnak, valamint e törvényben előírt hatósági engedélyhez kötött tevékenységet folytatnak, ilyen tevékenységben közreműködnek, vagy ilyen tevékenység folytatásához engedély iránti kérelmet nyújtanak be. A nukleáris biztonsági követelmények és rendelkezések mellett a követelmények közé tartoznak az egyedi hatósági előírások, feltételek és kötelezettségek, amelyeket az OAH a nukleáris létesítmény nukleáris biztonsága érdekében határozatban állapíthat meg.

Az NBSZ-ben foglalt követelmények teljesítésére az OAH ajánlásokat fogalmazhat meg, amelyeket útmutatók formájában ad ki. Az útmutatókat az OAH a honlapján közzéteszi. Jelen útmutató az engedélyesek önkéntes alávetésével érvényesül, nem tartalmaz általánosan kötelező érvényű normákat.

A Rendelet 3. § (4) bekezdése alapján, ha a kérelmező a nukleáris biztonsággal összefüggő engedély iránti kérelmét az útmutatókban foglaltak szerint terjeszti elő, továbbá ha az engedélyes a nukleáris biztonsággal összefüggő tevékenységét az útmutatókban foglaltak szerint végzi, akkor az OAH a választott módszert a nukleáris biztonság követelményei teljesítésének igazolására alkalmasnak tekinti, és az alkalmazott módszer megfelelőségét nem vizsgálja.

Az útmutatókban foglaltaktól eltérő módszerek alkalmazása esetén az OAH az alkalmazott módszer helyességét, megfelelőségét és teljeskörűségét részleteiben vizsgálja, ami hosszabb ügyintézési idővel, külső szakértő igénybevételével és további költségekkel járhat.

Ha az engedélyes által választott módszer eltér az útmutató által ajánlottól, akkor az eltérés indokolása mellett igazolni kell, hogy a választott módszer legalább ugyanazt a biztonsági szintet biztosítja, mint az útmutatóban ajánlott.

Az útmutatók felülvizsgálata az OAH által meghatározott időszakonként vagy az engedélyesek javaslatára soron kívül történik.

A fenti szabályozást kiegészítik az engedélyesek, illetve más, a nukleáris energia alkalmazásában közreműködő szervezetek (tervezők, gyártók stb.) belső szabályozási dokumentumai, amelyeket az irányítási rendszerükkel összhangban készítenek.

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. BEVEZETÉS</b>	<b>7</b>
1.1. Az útmutató tárgya és célja	7
1.2. Vonatkozó jogszabályok és előírások	7
<b>2. ÁLTALÁNOS ELVEK</b>	<b>8</b>
2.1. A tervezés alapelvei	8
2.2. Bevezető teszt fűtőelemkötegek alkalmazása	9
2.3. A tervezési folyamat résztvevői	10
<b>3. ELEMZÉSEK</b>	<b>11</b>
<b>4. TERVEZÉSI HATÁRÉRTÉKEK</b>	<b>13</b>
4.1. Alapelvek	13
4.2. Sérülések megelőzésére szolgáló határértékek és korlátozások	13
<b>5. A TERVEZÉS FELÜGYELETE</b>	<b>17</b>
5.1. A tervezési dokumentáció felülvizsgálata	17
5.2. Az eddig alkalmazottaktól eltérő fűtőelem-típus tervezési dokumentációjának felülvizsgálata	18
5.2.1. A tervezés felülvizsgálati dokumentációjának tartalma	18
5.3. Eltérő fűtőelemköteg tervezési dokumentációjának felülvizsgálata	22

## **1. BEVEZETÉS**

### **1.1. Az útmutató tárgya és célja**

Az útmutató ajánlásokat tartalmaz az NBSZ 3. kötetének 3.4.1.1700. – 3.4.1.2400. pontjaiban rögzített, - a tervezési követelmények teljesítési módja és a tervezés felülvizsgálati dokumentációjának tartalmára vonatkozó - előírások teljesítésének az OAH által lehetségesnek tartott módjára.

Az útmutató célja, hogy – ajánlásokat adva az atomerőművi üzemanyag tervezésével kapcsolatosan – egyértelművé tegye a hatósági elvárásokat, és ezzel elősegítse az érvényes előírásokban meghatározott nukleáris biztonsági kritériumok teljesülését, az alkalmazott műszaki megoldásoknak megfelelően, a nukleáris biztonság szempontjából.

### **1.2. Vonatkozó jogszabályok és előírások**

A nukleáris biztonsági követelmények jogszabályi háttérét az Atv. és a Rendelet biztosítja.

## **2. ÁLTALÁNOS ELVEK**

### **2.1. A tervezés alapelvei**

Az üzemanyag tervezésekor figyelembe veszik a jelen útmutatóban nem ismertetett, de az atomerőmű tervezésekor alkalmazott más szabályokat és biztonsági kritériumokat is.

A nukleáris létesítmények üzemeltetési dokumentumai előírásokat tartalmaznak a meghibásodott fűtőelemek kezelésére vonatkozóan, vagy elemzéssel bizonyítják, hogy meghibásodások csak olyan kis valószínűséggel következhetnek be, hogy ezen esetekre műszaki és szervezési intézkedéseket nem szükséges előírni.

A tervezési alapadatokban az engedélyes figyelembe veszi a normál üzemeltetésre, várható üzemi eseményekre és tervezési üzemzavarokra vonatkozó biztonsági követelményeket.

A biztonsági követelmények teljesülését igazolja a friss üzemanyag tárolás, a reaktorban történő felhasználás, a pihentetés és az átmeneti tárolás időszakára, továbbá a friss és kiégett üzemanyag szállítására is, mivel az üzemanyag - életútjának különböző szakaszaiban - eltérő jellegű és intenzitású hatásoknak van kitéve.

Az engedélyes az üzemanyag életútját úgy tervezi meg, hogy az minden lehetséges esetben elvezessen az újra feldolgozáshoz, vagy a biztonságos végső eltemetéshez.

Az üzemanyag tervezője igazolja a megtervezett üzemanyag és a már meglévő technológiai létesítmények és berendezések mechanikai és kémiai kompatibilitását. Szükség esetén adatokat szolgáltat az esetleges módosítások végrehajtásához.

A figyelembe veendő létesítmények és berendezések:

- a) szállító eszközök,
- b) friss üzemanyag tároló,
- c) erőművön belüli mozgató eszközök,
- d) átrakógép,
- e) pihentető medence,
- f) reaktor,
- g) átmeneti tároló, vagy végleges elhelyezésre szolgáló létesítmény.



A szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetek ellenállnak a kopási folyamatoknak, valamint az üzemeltetés során fellépő mechanikai feszültségeknek, és az üzemeltetés során végig megőrzik a szükséges mértékű neutronelnyelő tulajdonságukat.

## **2.2. Bevezető teszt fűtőelemkötegek alkalmazása**

Létező atomerőmű az addig alkalmazottaktól eltérő fűtőelem-típus esetében a tervezési folyamat kétféle módon valósulhat meg. Kisebb módosítások a tervezési követelmények teljes körű igazolása után közvetlenül bevezethetők a töltet tervezés alapvető megváltoztatása nélkül. Új konstrukció, gyártó, vagy az üzemanyag nagyobb mértékű változtatása (összetétel, szerkezet, gyártási folyamat) esetében első lépésben ún. bevezető teszt fűtőelemkötegek (angolul: Lead Test Assemblies) alkalmazása szükséges. Ha csak a gyártó változik, de a konstrukció ugyanaz, az üzemszerű felhasználás előtti tesztelési folyamatot nem szükséges végrehajtani.

A fejlesztés megkezdése előtt, amennyiben nem egyértelmű a bevezető teszt fűtőelemkötegek alkalmazásának szükségessége, az engedélyesnek célszerű hatósági állásfoglalást kérnie.

A bevezető teszt fűtőelemkötegek száma annyi, amennyivel egyértelműen le lehet fedni az aktív zónán belüli különböző terhelési viszonyokat. A bevezető teszt fűtőelemkötegek számának és pozíciójának megállapítása külön elemzést igényel.

A bevezető teszt fűtőelemkötegek legalább egy kampányt töltenek el az aktív zónában.

Az aktív zónából való kivétel után a bevezető teszt fűtőelemkötegeken végrehajtott vizsgálatok igazolják, hogy a fűtőelemkötegek hibamentesen üzemeltethetők. A fűtőelemkötegek vizsgálható paramétereire alapján azt is igazolja az engedélyes, hogy a gyártás, vagy tervezés során nem történt olyan hiba, amely a tervezett és a megvalósult fűtőelemköteg közötti eltérésre utalna.

Amennyiben bevezető teszt fűtőelemkötegek alkalmazására kerül sor, az előzetes tervezési folyamat során akkor is teljes körűen igazolják a tervezési követelményeket.

Nem szükséges bevezető teszt fűtőelemkötegek alkalmazása abban az esetben, ha ilyen tesztelési folyamatot – a reaktorból történő kivétel utáni vizsgálatokkal együtt – hasonló típusú erőműben, hasonló bevezető teszt fűtőelemkötegekkel már végrehajtottak, és a tervezés valamennyi információja rendelkezésre áll a tervezési követelmények teljesülésének

igazolásához. A hasonlóság elfogadhatóságát az engedélyes külön elemzéssel igazolja. A bevezető teszt fűtőelemkötegektől akkor is el lehet tekinteni, ha a bevezetni kívánt konstrukciót valahol már üzemszerűen alkalmazták és az engedélyes a tapasztalatokról szóló beszámolót nyújt be az OAH-nak.

### **2.3. A tervezési folyamat résztvevői**

Az üzemanyag tervezési alapadatait új atomerőmű esetében a reaktor tervezőjével, létező atomerőmű az eddig alkalmazottaktól eltérő fűtőelem-típus esetében a reaktor üzemeltetőjével egyeztetve állapítják meg.

Az engedélyes az üzemanyag tervezéshez rendelkezésre bocsát minden szükséges információt.

A bevezetésben leírtak értelmében az OAH bevonható a tervezési folyamat követésébe.

### 3. ELEMZÉSEK

A tervezés során a tervező az alábbi elemzéseket végzi el:

- a) A termikus folyamatokkal kapcsolatban:
  - kritikus hőfluxus vizsgálatok,
  - a fűtőelemköteg hidraulikai ellenállásának meghatározása, reaktor forgalom és by-pass számítások, kazettára ható emelő erők számítása,
  - a hidrodinamikai stabilitás igazolása a forgalom egyenlőtlenségek figyelembevételével.
- b) Termomechanikai folyamatokkal kapcsolatban:
  - az üzemanyag viselkedés mechanikai és kémiai folyamatainak elemzése normális teljesítményszinteken és teljesítmény változások figyelembe-vételével,
  - a geometriai megfelelőség igazolása, különös figyelemmel a termikus és radiációs méretváltozásra,
  - a vibrációs terhelések elviselésének igazolása,
  - a fűtőelemköteg szerkezetre ható hőfeszültségek meghatározása.
- c) Mechanikai folyamatokkal kapcsolatban:
  - a fűtőelemköteg szilárdsági elemzése,
  - a fűtőelem pálca szilárdsági elemzése,
  - a fűtőelemköteg szerkezeti elemeinek szilárdsági elemzése.
- d) Elemzi az üzemanyag és a burkolat kölcsönhatását, a hasadási gázok viselkedését, a burkolat korrózióját és sérülési mechanizmusait. Az elemzésekhez az üzemanyag viselkedés modellezésére megfelelően dokumentált és validált kódokat használ. Az elemzések különböző üzemi és üzemzavari állapotokra és az elérhető legnagyobb kiégettségre terjednek ki.
- e) Elemzi a fűtőelem burkolat és a hűtőközeg kölcsönhatását a korrózió, hidridizáció és a hűtőközegben keringő szilárd részecskék és korróziós termékek hatását figyelembe véve.
- f) Reaktorfizikai számításokkal elemzi az új üzemanyag felhasználhatóságát az aktív zónában. Igazolja a régi és új üzemanyag együttes alkalmazásának lehetőségét kevert zónákban.

**Atomerőművi üzemanyag tervezése**

---

- g) Kritikussági elemzéseket végez a tárolókra és szállítóeszközökre. Az üzemanyag elrendezését figyelembe véve bizonyítja, hogy elárasztási esetekben, legvalószínűbb víz/gőz hőmérséklettel és sűrűséggel számolva az effektív sokszorozási tényező nem haladja meg a 0,95 értéket. Minden, egyszeres hibát feltételező üzemzavarra igazolja, hogy az effektív sokszorozási tényező nem haladja meg a 0,98 értéket.
- h) A kritikussági elemzéseket arra az esetre is elvégzi, amikor kiégett üzemanyag tárolására vagy szállítására szolgáló berendezésekben a tervezett legnagyobb sokszorozó képességű üzemanyag van elhelyezve. A fenti korlátozások erre az esetre is érvényesek. A szubkritikuság előírt mértéke 95 %-os konfidencia szinten 95 %-os valószínűséggel teljesül.

## 4. TERVEZÉSI HATÁRÉRTÉKEK

### 4.1. Alapelvek

Az üzemanyag tervezésében az engedélyes érvényesíti az erőmű biztonsági megalapozásánál követett determinisztikus és valószínűségi biztonsági elvek egymással szinkronban történő alkalmazását. Külön kritériumrendszert ír elő a normál üzemeltetésre, várható üzemi eseményekre és tervezési üzemzavarokra.

A számszerűen meg nem adott korlátozásokat kísérleti mérésekkel alapozza meg, vagy legalább úgy, hogy az atomerőművi blokk biztonsági jelentése az adott korlátozásra egyértelmű hivatkozásokat tartalmaz.

### 4.2. Sérülések megelőzésére szolgáló határértékek és korlátozások

Normál üzemeltetéskor az üzemanyag sérülési mechanizmusaira és a sérülés megelőzésére szolgáló határértékekre legalább a következőket veszi figyelembe:

a) A burkolat összeroppanása

A burkolat mechanikai szilárdsága olyan, hogy az üzemanyag teljes tervezett üzemeltetési ideje alatt végig elkerülhető a burkolat összeroppanása, mely a tabletták és a burkolat közötti hézag megszüntetését eredményezi.

b) A fűtőelem tablettákból felszabaduló gázok

A fűtőelemek belsejében uralkodó nyomás nem haladhatja meg a hőhordozó névleges nyomását. Amennyiben ez konstrukciós, vagy más okokból nem biztosítható, külön bizonyítja, hogy a túlnyomás nem hat károsan a fűtőelemre.

c) Tabletta - burkolat kölcsönhatás

A feszültségkorrózióra való tekintettel a fűtőelemet úgy tervezi meg, hogy a jelentős mechanikai feszültséget okozó tabletta - burkolat kölcsönhatás a fűtőelem használata alatt a lehető legrövidebb ideig és legkevesebb helyen forduljon elő. Az üzemeltetési korlátozásokban is figyelembe veszi ezt a követelményt.

d) Deformációk

Minden kárt okozó technológiai és fizikai folyamat figyelembevételével felső korlátokat állapít meg a geometriai deformációkra (elhajlás,

**Atomerőművi üzemanyag tervezése**

---

megnyúlás, elcsavarodás, stb.) A korlátok köre kiterjed mindazokra a konstrukcióból eredő szerkezeti egységekre (fűtőelem, köteg stb.), melyek nem megengedhető deformációja rövid-, vagy hosszútávon a fűtőelemek meghibásodását eredményezheti.

e) Feszültségek, az anyagok kúszása és fáradása

Felső határértékeket állapít meg a fűtőelemek kritikus részeiben ébredő feszültségekre és kúszási jellemzőikre. Az anyagfáradásból eredő sérüléseinek elkerülésére határértékeket definiál a periódikusan ismétlődő terhelésekre.

f) Korrózió és hidridizáció

A fűtőelem különböző részeinek oxidációját, a burkolat hidridizációját és a korróziós termékek lerakódásából eredő réteg vastagságát megfelelő határértékek alatt tartja. Ennek érdekében a hőhordozó megfelelő kémiai és fizikai jellemzőire korlátokat ír elő. A fűtőelem belső hidridizációját a belső nedvességtartalom korlátozásával tartja megfelelően alacsony szinten.

g) A fűtőelem tabletták tömörödése és duzzadása

A fűtőelem tabletták tömörödése és duzzadása egymással ellentétes irányú folyamatok. Az üzemidőtől függően hol az egyik, hol a másik meghatározó. A tablettákat a pórusnagyság megfelelő beállításával (gyártási technológia) úgy állítják elő, hogy a névleges értékhez viszonyítva ne lépjen fel a megengedettnél nagyobb térfogateltérés a kiegészi ciklus bármely időszakában sem pozitív, sem negatív irányban. A relatív térfogatváltozás mindkét irányú megengedhető mértékére határértéket állapítanak meg, vagy egyéb módon bizonyítják, hogy a hőátadásban és egyéb jellemzőkben nem lépnek fel zavarok.

h) Rugó a fűtőelem belsejében

Alsó határértéket állapítanak meg a fűtőelem belsejében elhelyezkedő rugó erejére vonatkozóan abból a célból, hogy a tabletták elmozdulása megakadályozható legyen a friss üzemanyag szállítása és egyéb céllal történő mozgatása során. Ha a fűtőelemek felépítése olyan, hogy a tabletták elmozdulását nem csavarrugóval gátolják meg, akkor igazolják az adott megoldás alkalmasságát.

i) A fűtőelemkötegek kezelése

A fűtőelemkötegek kezelése és szállítása során fellépő mechanikai feszültségekre vonatkozóan olyan határértékeket állapítanak meg,

**Atomerőművi üzemanyag tervezése**

---

amelyek biztosítják, hogy ezeknek a műveleteknek ne legyen káros hatásuk az üzemelő kazettákra.

Várható üzemi események során az üzemanyag sérülési mechanizmusaira és a sérülés megelőzésére szolgáló határértékekre legalább a következőket veszik figyelembe:

a) A fűtőelem burkolat hőmérséklete

A burkolat megfelelő hűtése biztosított, ha 95 %-os konfidencia szinten 95 %-os valószínűséggel bizonyítható, hogy filmforrás, vagy abba való átmenetet jelentő forrási állapot (forráskrízis) nem lép fel. Az ilyen kedvezőtlen hőátadást eredményező állapotot angol kifejezéssel "departure from nucleate boiling"-nak (DNB) nevezik. A forráskrízis elkerülését a legterheltebb fűtőelem legterheltebb pontjában is biztosítják.

b) A fűtőelem tabletták töredezése

Egyetlen fűtőelemben sem megengedett a tabletták anyagának olyan mértékű töredezése, amely a fűtőelem sérülését eredményezné. A tabletták töredezése az entalpia növekedésével hozható kapcsolatba, ezért üzemi tranziensek során a sugárirányban átlagolt fajlagos entalpia növekedés nem haladhatja meg az  $586 \text{ J/gUO}_2$  ( $140 \text{ cal/g}$ ) értéket. Ennél nagyobb entalpia növekedésnél a fűtőelemet sérültnek tekintik és a kijutó radioaktivitás mértékének meghatározásánál ennek megfelelően járnak el. Fenti értéket a felszabaduló energiától függetlennek tekintik, és úgy képezik hogy az átmenet során az üzemanyagban fellépő legnagyobb hőmérsékletű állapothoz tartozó fajlagos entalpiából kivonják a kiindulási állapotra jellemző értéket.

c) A fűtőelem tabletták megolvadása

A fűtőelem tabletták hőmérséklete sehol sem haladhatja meg az olvadáspontot. A megolvadás elkerülése közel stacionárius folyamatoknál általában biztosított, ha a burkolaton sehol sem lép fel forráskrízis. Amennyiben az üzemi események közé sorolt valamely tranziensnél mégis fennáll annak gyanúja, hogy a tabletták hőmérséklete az olvadáspont közelébe került, akkor a fenti kritériumot tételesen is ellenőrzik.

d) Egyéb sérülést okozó mechanizmusok

A tranziensek következményeinek ellenőrzése során megvizsgálják, hogy a fűtőelemek más okok következtében (pl. mechanikai ütések, vagy a megnövekedett belső nyomás miatt létrejött felfúvódás, törés révén) nem sérülnek-e.

**Atomerőművi üzemanyag tervezése**

---

Tervezési üzemzavarok esetén a hűthetőséggel kapcsolatos határértékekre és korlátozásokra legalább a következőket veszik figyelembe:

- a) Tervezési üzemzavarok során a burkolat hőmérséklete sehol sem haladhatja meg az 1200 °C-ot.
- b) Az oxidáció mértéke - a teljes burkolatvastagság hányadában kifejezve - sehol sem haladhatja meg a 17 %-ot. Oxidáció mértéke alatt a teljes rétegvastagságnak azt a hányadát értik, amely oxiddá alakulna át, ha az összes lokálisan elnyelődött oxigén  $ZrO_2$  keletkezésére vezető reakcióban használna el. A teljes oxidáció meghatározásánál mind a külső, mind pedig a lehetséges belső oxidációt figyelembe veszik.
- c) A fűtőelem burkolat és a hűtőközeg közötti kémiai reakció eredményeképpen keletkező hidrogén mennyisége nem haladhatja meg annak a mennyiségnek az 1%-át, amely akkor keletkezne, ha a burkolat teljes egészében reakcióba lépne a hűtőközeggel.
- d) Az üzemanyag hőtartalmának növekedésére jellemző fajlagos entalpia változásnak a sugárirányban képzett átlaga az aktív zónán belül sehol sem haladhatja meg a 963 J/g $UO_2$  (230cal/g) értéket. Ezt az értéket a felszabaduló energiától függetlennek tekintik és úgy képezik, hogy az átmenet során az üzemanyagban fellépő legnagyobb hőmérsékletű állapothoz tartozó fajlagos entalpiából kivonják a kiindulási állapotra jellemző értéket.
- e) A hűtőközeg áramlását nem akadályozhatja meg a reaktor szerkezeti elemeinek deformációja.
- f) A szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetek még részlegesen sem olvadhatnak meg. Az üzemanyag és a reaktor szerkezeti elemei nem deformálódhatnak oly mértékben, hogy ezáltal a szabályozó és biztonságvédelmi szerkezeteknek a hasadási láncreakció leállítására irányuló mozgása lehetetlenné váljon.



## 5. A TERVEZÉS FELÜGYELETE

### 5.1. A tervezési dokumentáció felülvizsgálata

Új reaktor első töltetének, új típusú, vagy jelentős mértékben módosított üzemanyagnak, illetve szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetnek, vagy új tervező, vagy gyártó termékének engedélyezésekor a tervezési dokumentáció felülvizsgálata szükséges. Ekkor az eddig alkalmazottaktól eltérő fűtőelem-típusról beszélünk. Szűkített terjedelmű felülvizsgálat szükséges akkor is, amikor az új cseretöltetet alkotó üzemanyagban valamilyen kisebb fejlesztést hajtottak végre. Ekkor eltérő fűtőelemköteg beszélünk.

Az üzemanyag módosításának mértékét a strukturális, összetételi jellemzők és a végtelen sokszorozási tényező változása határozzák meg.

A tervezési dokumentáció felülvizsgálatát elemzésekre, kísérletek eredményeire és a rendelkezésre álló összes üzemviteli tapasztalatra alapozzák. Ennek érdekében az üzemanyag típus egész üzeme alatt folytatják az üzemviteli tapasztalatok gyűjtését.

Az engedélyes köteles a felülvizsgálatba a tervezéstől független szakértőket is bevonni. Független szakértő erre a feladatra minősített személy, vagy szervezet lehet.

Az engedélyezési folyamat során jóváhagyott tervezési dokumentációkat, a felülvizsgálat eredményeit és az üzemviteli tapasztalatokat az üzemanyag teljes élettartama alatt szabályozott módon őrzik meg az ellenőrizhetőség és a következő tervezési folyamatban való felhasználhatóság érdekében.

A felülvizsgálati dokumentációt, amelyet a tervezési dokumentáció és a felülvizsgálat eredménye képez, legkésőbb az üzemanyag engedélyezésekor az engedélyes jóváhagyásra benyújtja az OAH-nak.

Előfordul, hogy az üzemanyag módosulása nélkül is megváltozik a tervezési dokumentáció (gyártástechnológiai korszerűsítések, újabb ellenőrzési módszer alkalmazása stb.). Ezekben az esetekben is igazolják, hogy a módosítás biztonsági hatása a korábbiakhoz képest kedvezőbb, illetve a biztonság nem romlott az eredeti állapothoz képest. Ilyenkor a hatósági engedélyezés elmaradhat, de a tervezési dokumentációt ki kell egészíteni a módosítás információival.

## 5.2. Az eddig alkalmazottaktól eltérő fűtőelem-típus tervezési dokumentációjának felülvizsgálata

Az eddig alkalmazottaktól eltérő fűtőelem-típus tervezési dokumentációjának felülvizsgálata során legalább a következő feltételek teljesülnek:

- a) a hasadóanyag eloszlása az aktív zónában megfelelő,
- b) a hasadás során felszabaduló energia szabályozható módon adódik át a hűtőközegnek,
- c) normál üzemeltetéskor, valamint várható üzemi események és tervezési üzemzavarok során kizárt a fűtőelemek sérülése,
- d) az üzemanyag és a szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetek még tervezési üzemzavaroknál sem sérülhetnek meg olyan mértékben, hogy a szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetek aktív zónába történő bevezetése lehetetlenné válna,
- e) az üzemanyag sérülése még tervezési üzemzavaroknál sem lehet olyan mértékű, hogy a fűtőelemek hűtése lehetetlenné válna,
- f) az üzemanyag és a szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetek tulajdonságai és viselkedésük oly mértékben legyen ismert, hogy a biztonsági elemzés elvégezhető legyen,
- g) az üzemanyag és a szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetek felépítése tegye lehetővé periodikus felülvizsgálatukat és ellenőrzésüket.

### 5.2.1. A tervezés felülvizsgálati dokumentációjának tartalma

A tervezés felülvizsgálati dokumentációja az alábbi tételeket tartalmazza:

A gyártó és az engedélyes minőségbiztosítási programja és kézikönyve.

1. Tervezési alapok és elfogadási kritériumok részletes leírása.
2. Bemutatják a tervezés által garantált határértékeket normál üzemeltetésre, várható üzemi eseményekre és tervezési üzemzavarokra. Definiálják a fűtőelem sérülés és a húthetőség fogalmát. Bemutatják a névleges üzemlet határoló ún. burkoló blokkállapotot jellemző paraméterek listáját, illetve a paraméterek határértékeit, a hűtőközeg kémiai és fizikai tulajdonságait és az elképzelhető legnagyobb terheléssel járó üzemmenetet.
3. Az üzemanyag és a szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetek viselkedésére vonatkozó elemzések és vizsgálatok.

**Atomerőművi üzemanyag tervezése**

---

Ezen dokumentumok bizonyítják, hogy az üzemanyag és a szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetek megfelelnek a tervezési alapoknak, illetve a vonatkozó határértékeknek. A bizonyítás az üzemanyag és a szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetek viselkedésének elemzését jelenti normál üzemeltetéskor, várható üzemi események és tervezési üzemzavarok során. Az alábbiakat tételesen elemzik:

a) Normál üzemeltetéskor:

- a fűtőelem tabletták és a burkolat legmagasabb hőmérséklete, valamint a hőmérséklet eloszlása,
- az üzemanyag tabletták sűrűségváltozásának hatása a lineáris energiasűrűségre, a teljesítmény eloszlásra és a hőátadásra,
- a hasadási gázok kiszabadulása az üzemanyag tablettából (fűtőelem belső nyomása) a kiégéstől és a maximális terhelésű teljesítménymenettől függően,
- a fűtőelemek elhajlása és az elhajlás hatásai,
- a korrózió jelenségéből és a korróziós termékek burkolaton történő lerakódásából származó változásoknak a hőátadásra gyakorolt hatása,
- az üzemanyag tabletták és a burkolat közötti kölcsönhatás, és ennek következményei,
- a hasadási termékek mennyisége a fűtőelemekben,
- a burkolat kopása, korróziója és hidridizációja,
- feszültségek és kúszási jelenségek a burkolatban, a burkolat deformációja, összenyomódása, a fűtőelem pálcák vibrációja,
- a fűtőelemköteg különböző elemeiben fellépő fáradási jelenségek,
- a fűtőelemköteg különböző elemei és a hűtőközeg közötti kölcsönhatások (hidraulikai, kémiai értelemben),
- a fűtőelemköteg különböző részeinek méretváltozása az üzemelés idején,
- a fűtőelemköteg strukturális stabilitása különböző terhelési körülmények között,
- az inhermetikus fűtőelemek viselkedése,
- a szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetek méretváltozásai és sérüléssel szembeni ellenállásuk különböző körülmények között,

**Atomerőművi üzemanyag tervezése**

---

- a szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetek mozgathatósága különböző körülmények között,
- a hőmérséklet és a hőmérséklet eloszlása a szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetekben különböző körülmények között,
- a szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetek korróziója, kopása, a korróziós termékek lerakódása,
- szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetek neutronelnyelő anyagának nukleáris viselkedése.

## b) Várható üzemi események során:

- a burkolat sértetlenségének igazolása közvetlenül egy fűtőelem viselkedést szimuláló kód segítségével, vagy a sérülésre vonatkozó közvetett kritériumok alapján (DNB sértés, tablettá megolvadása, entalpiánövekedés); az utóbbi esetben azonban egyéb módon (pl. kísérletekre történő hivatkozással) bizonyítják, hogy fűtőelem sérülés nem lép fel csak azt követően, ha a közvetett határértékek valamelyike sérül; külön vizsgálják, hogy a reaktorban fellépő, de a köteg szempontjából külső igénybevételnek tekinthető mechanikai hatások okozhatnak-e fűtőelem sérülést;
- a fűtőelemköteg különböző részeinek egymásra hatása;
- a szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetek mozgathatósága.

## c) Tervezési üzemzavarok során:

- a kiégés hatása a burkolat különböző sérülési mechanizmusaira;
- a sérült fűtőelemek száma;
- az üzemanyag rövid- és hosszú távú húzhatóságának igazolása közvetlenül egy fűtőelem viselkedést szimuláló kód segítségével, vagy a fűtőelemek felfúvódására, felhasadására vonatkozó közvetett kritériumok alapján (maximális burkolat hőmérséklet, a burkolat oxidációjának mértéke, megengedett entalpiánövekedés a fűtőelemekben); az utóbbi esetben azonban egyéb módon (pl. kísérletekre történő hivatkozással) bizonyítják, hogy a felfúvódás/felhasadás nem lép fel csak azt követően, ha a közvetett határértékek valamelyike sérül; külön vizsgálják, hogy a reaktorban fellépő, de a köteg szempontjából külső igénybevételnek tekinthető mechanikai hatások okozhatnak-e fűtőelem sérülést;
- a fűtőelemköteg különböző részeinek egymásra hatása;
- a szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetek mozgathatósága.

**Atomerőművi üzemanyag tervezése**

---

4. A felsorolt elemzések számítási modelljeinek leírása, azok validációs referenciáival és pontatlanságaival együtt.
5. A kísérletek körülményeinek és eredményeinek leírása, akár reaktoron, akár kísérleti berendezésen végezték a méréseket.
6. A 3. fejezet a) - h) elemzések eredményei a módszer és eszközök ismertetésével együtt.
7. Annak bizonyítása, hogy a kiégetés előtt és után lezajló kémiai és fizikai folyamatok nem vezetnek az üzemanyag és a szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetek megengedhetetlen mértékű meghibásodásához.
8. Ha a szóban forgó üzemanyag típust már alkalmazták más erőműben, akkor az üzemeltetési tapasztalatokat is bemutatják a felülvizsgálati dokumentációban.
9. A felhasznált anyagok specifikációja, a felhasználási területre való alkalmasság igazolásával.
10. A gyártás során használt alapanyagok és hegesztőanyagok leírása.
11. Az uránium-dioxid por és a tabletták gyártási eljárásának, a szériák azonosítási módjának, a gyártás során alkalmazott fizikai és kémiai vizsgálatoknak és egyéb ellenőrzési eljárásoknak a leírása.
12. Az üzemanyag szerkezeti elemeinek (fűtőelem burkolata, távtartó rács, stb.) gyártási eljárása, a szériák azonosítási módja, anyagi jellemzőkkel szemben támasztott követelmények, ellenőrzési eljárások, az egyes alkatrészek kódszáma, rajzokra és felülvizsgálati tervekre vonatkozó utalások.
13. A szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetek anyagaira és az üzemanyag egyéb részeire vonatkozó leírások tartalmazzák az alap- és hegesztőanyagok fajtáját, kódszámát, az alapanyag gyártási eljárását, az alapanyagok az a formáját, amely a szóban forgó alkatrész gyártásának kiindulópontja, az adott alkatrész gyártási eljárását, beleértve az alakítást, hőkezelést, stb., az anyagi jellemzőket, tesztelési, ellenőrzési eljárásokat.
14. Az alvállalkozó által a gyártónak szállított alapanyag minősítését tartalmazó dokumentum.
15. Az üzemanyagot és a szabályozó és biztonságvédelmi szerkezeteket, illetve a részelemeket ábrázoló rajzok, amelyek legalább a következő információkat tartalmazzák:
  - az elemzésekhez szükséges méretek és formák, valamint a megengedett tűrések,

**Atomerőművi üzemanyag tervezése**

---

- az üzemanyagra vonatkozó adatok, az alkatrész és anyaglistával együtt,
  - a csatlakozások típusa, helye és méretei,
  - a hegesztett kötésekre, a hegesztési eljárásra, a hegesztés minőségére vonatkozó előírások.
16. A felülvizsgálati dokumentáció tartalmazza a minőségellenőrzési programot, vagy egy tételes leírást az egyes minőségellenőrzési lépésekről, illetve az ezek felülvizsgálatára szolgáló helyszíni és egyéb ellenőrzések módjáról.
17. A felülvizsgálati dokumentáció tartalmazza az üzemanyag és a szabályozó és biztonságvédelmi szerkezetek gyártásának leírását, valamint a gyártás különböző fázisaiban alkalmazott minőségellenőrzési lépéseket.

**5.3. Eltérő fűtőelemköteg tervezési dokumentációjának felülvizsgálata**

Azokat a dokumentumokat, amelyek továbbra is érvényben maradnak az 5.2.1. pontban felsoroltak közül, nem szükséges az OAH számára megküldeni, de az engedélyes hivatkozik rájuk. Minden olyan információról beszámol, amely a módosítás indoklását és biztonsági megalapozását alátámasztja.