

6 Helyreállítás

6.1 A baleset utáni műszaki intézkedések

Jelen fejezetben a blokkok baleset utáni állapotát, és a rajtuk végrehajtott műszaki intézkedéseket ismertetjük. Baleset utáni állapotnak tekintjük a reaktor hideg leállítása utáni állapotot, azaz miután az aktív zóna hőmérséklete $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ alá csökkent, illetve a hidrogénrobbanást elszenvedett blokkoknál a robbanást követő időszakot. A következő alfejezetben blokkonként részletezésre kerülnek az események időpontjai, így éles határt lehet húzni. Ez azért fontos, mert mint az előző – baleset lefolyásával foglalkozó – fejezetekből is kiderült, blokkonként más és más időpontokról beszélhetünk. Az átláthatóság érdekében az intézkedések blokkonként kerültek csoportosításra, nem pedig az intézkedések időpontja szerint.

A [6.2] forrás a 2011. május 31-i állapotot írja le, a [6.3] pedig a 2011. augusztus 31-i állapotot, jelen fejezet mindkét forrást felhasználta.

Erőművek műszaki állapota

A Fukushima Daini blokkjai [6.1, 6.3]

A Fukushima Daini-ben a cunami érkezésére a fő gőzelzáró szelepeket manuális úton elzárták, így a reaktortartály nyomását a biztonsági gőzleeresztő szelepeken keresztül lehetett szabályozni. A 3. blokk hideg leállítását már 2011. március 12-én el tudták érni, az 1. és a 2. blokk március 14-én, a 4. blokk március 15-én érte el a hideg leállított állapotot. A cunami által tönkretett tengervíz szivattyúk villamos betáplálását ideiglenes vezetékekkel és mobil dízelekkel helyettesítették, hogy a keletkező hőt el lehessen vonni. A 3. blokk ez alól kivétel volt, mert a tengervíz szivattyúk éppen maradtak, nem veszítették el funkciójukat, így ott nem volt erre szükség.

Egyik pihentető medence hőmérséklete sem lépte túl a $62\text{ }^{\circ}\text{C}$ értéket. Legkésőbb 5 nappal a baleset bekövetkezte után mindegyik pihentető medence esetén a remanenshő-elvonó rendszerek segítségével fél napon belül sikerült visszaállítani a normális, $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ körüli értéket.

A primer konténmentek állapota a földrengés után is megfelelő maradt, ezek közül a legnagyobb nyomás, amely megterhelte a konténmentet 282 kPa túlnyomás volt, mely elmarad az üzem közben maximálisan megengedett túlnyomástól (310 kPa).

A Fukushima Daiichi blokkjai [6.2; 6.3]

Az 1., 2. és 3. blokk esetében sérült az aktív zóna, az 1., a 2. és a 4. blokkban pedig hidrogénrobbanás is bekövetkezett. Az 5. és a 6. blokk 2011. március 20-án érte el a hideg leállított állapotot.

A NISA összehasonlító elemzést végzett a MELCOR kód segítségével, ugyanazokkal a feltételekkel, amelyeket a TEPCO is használt az egyes blokkok esetén. A két különböző szervezet által végzett szimulációk jó egyezést mutattak.

Fukushima Daiichi 1. blokk

Az első hidrogénrobbanás 2011. március 12-én 15:36-kor történt az 1. blokkon, melynek következtében radioaktív törmelék szóródott szét a blokk épületei körül. A TEPCO március 20-ra volt képes ismét biztosítani a külső energia ellátást.



6-1. ábra: Az 1-es blokk épülete a robbanás után [6.3]

Hűtés és a reaktortartály állapota

A hidrogénrobbanás bekövetkezte után 3,5 órával, 19:04-kor a METI elrendelte a reaktortartály feltöltését tengervízzel, még bórsav hozzáadása nélkül, majd aznap 20:45-től kezdődően bórsavat is adagoltak a befecskendezett vízhez. Erre a célra a TEPCO a tűzoltóberendezés vezetékeit használta.

2011. május végéig összesen 10 800 m³ édesvizet, valamint 2800 m³ tengervizet fecskendeztek be. Március 29-ig egy ideiglenes elektromos szivattyúval történt a befecskendezés, utána lecserélték egy állandó táppal bíró szivattyúra.

A reaktortartály és a primer konténment tartály állapotát először 2011. március 23. és május 31. között mérték fel, ebben az időszakban az erőmű állapota már stabil volt [6.2].

A vízbefecskendezés kezdetétől – a remanens hő alapján becsülve – mintegy 5100 tonna gőz termelődött a reaktorban. A reaktortartály térfogata megközelítőleg 350 m³, ami azt jelenti, hogy a gőz mellett víznek is kellett szivárognia. A befecskendezett 13 600 m³ vízből tehát több mint 8000 m³ szivárgott el a reaktor tartályából, ennek egy jelentős része a turbinacsarnokban gyűlt össze, azonban ennek mennyiségére vonatkozóan a [6.3] jelentés elkészítéséig nem voltak pontos adatok. Feltehetően ennek a vízmennyiségnek számottevő része jutott a környezetbe az épület sérülésein keresztül.

A reaktor hűtése közben (március 25-e körüli mért értékek alapján) azt tapasztalták, hogy amint csökkent a befecskendezett hűtővíz mennyisége, a reaktortartályban bizonyos pontokban megemelkedett a hőmérséklet, ebből arra lehetett következtetni, hogy az

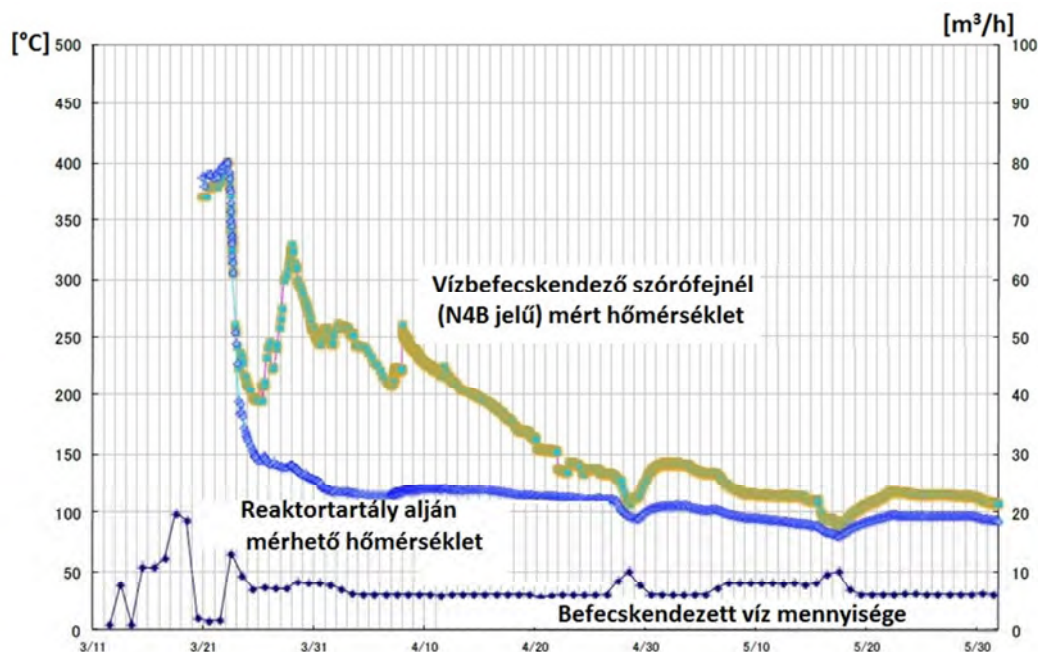
üzemanyag (vagy legalább egy része) még a reaktortartályban van. Május 11-re sikerült visszaállítani a normál vízszintet a reaktorban, és megerősítést nyert, hogy hosszú ideig olyan alacsony volt a reaktor vízszintje, hogy az üzemanyag komolyan megsérülhetett. Ezek alapján az feltételezhető, hogy nagyobb mennyiségű olvadt üzemanyag található a reaktortartály aljában.

A reaktortartály egyes részein a hőmérséklet ekkor nagyobb volt, mint a reaktortartályban uralkodó nyomásához tartozó telítési hőmérséklet, mely alapján úgy becsülték, hogy az üzemanyag egy része nem érintkezik a vízzel, de gőz által hűtve van. 2011. augusztus 27-i állapot szerint [6.3] a befecskendezett víz térfogatárama $3,6 \text{ m}^3/\text{h}$ volt, a reaktortartály hőmérséklete pedig 100°C alá csökkent (6-2 ábra), ez az állapot stabilizálódását jelentette. 2012. március 14-én a reaktor hűtését átváltották a pótvízrendszerről a remanenshő-elvonó rendszerre [6.4].

Primer konténment tartály állapota

Március 12-én a szárazakna nyomása túllépte a megengedett maximális $0,427 \text{ MPa}$ (túlnyomás) értéket, és elérte a $0,7 \text{ MPa}$ -t is. Ezt követően március 23-án a primer konténmentben a hőmérséklet átlépte a mérhető maximumot, 400°C -ot. Ennek következtében a tömítések meggyengültek, a becsült szivárgási ráta $4\%/óra$ lehetett. Becslések szerint a reaktor teljes radioaktívjód-tartalmának $0,7\%$ -a, valamint a teljes cézium tartalmának $0,3\%$ -a a nemesgázokkal együtt kikerült a környezetbe.

Április 7-én megkezdődött a nitrogén befecskendezés a konténment légterbe, hogy elkerüljék a kritikus hidrogén-koncentráció elérését, az újabb hidrogénrobbanások bekövetkezését. Ez a nyomást hozzávetőlegesen $0,05 \text{ MPa}$ -al növelte meg a primer konténment tartályban, egészen május 31-ig. A TEPCO súlyosbaleseti elemzések mellett numerikus áramlástani módszerekkel is vizsgálta a reaktor baleset során kialakult állapotait. A vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy a hidrogén a vízgőz és az üzemanyag burkolatának reakciójában keletkezett. [6.2]



6-2 ábra: A Fukushima Daiichi 1. blokk hűtésével kapcsolatos releváns mért értékek 2011. március 11. és május 30. között [6.2].

A reaktorépület fölé épített másodlagos védőépület építése 2011 októberében fejeződött be. A védőépület célja, hogy csökkentsék a radioaktív kibocsátást az 1. blokk reaktorépületből. Jelentésünk véglegesítésekor a Tepco azt tervezi, hogy szétszereli a védőépületet, hogy el lehessen távolítani az üzemanyagot az 1. blokki pihentető medencéből. Ehhez egyben a robbanásban keletkezett törmelék is el kell távolítani.

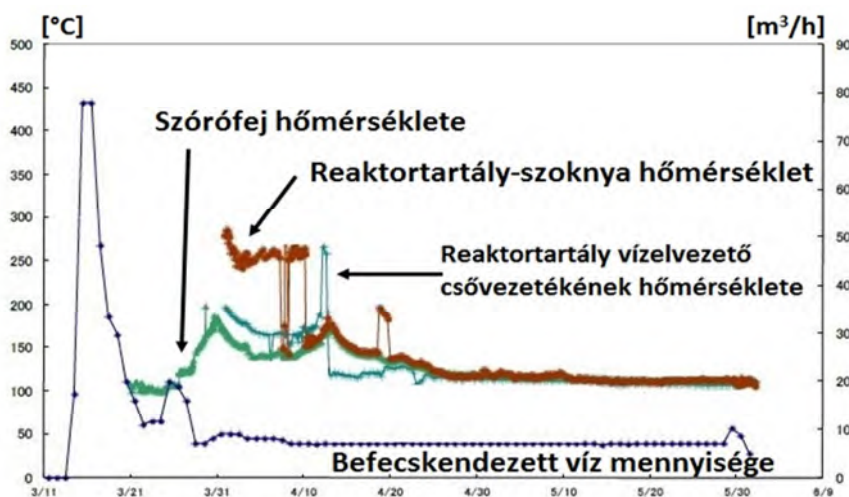
Fukushima Daiichi 2. blokk

A 2. blokkban jelenlegi tudásunk szerint nem következett be hidrogénrobbanás, a primer konténment tartály azonban jelentősen szivárgott. Március 20-tól kezdve stabilizálták a blokk energiaellátását külső forrás segítségével. A radioaktivitás szivárgását azon feltételezés alapján vizsgálták, hogy a reaktor tartály megsérült és az olvadt üzemanyag a konténmentbe került. Ez alapján elmondható, hogy gyakorlatilag az egész nemesgáz tartalom, valamint a teljes jódtartalom kevesebb, mint 1%-a került a környezetbe.

Hűtés és a reaktortartály állapota

Március 16-ig tengervíz, utána édesvíz került befecskendezésre egy ideiglenes tartályból. Május végéig megközelítőleg 21 000 m³ vizet fecskendeztek be, melyből 9200 m³ volt tengervíz. A befecskendezett 21 000 tonnányi vízből 7900 tonna gőz képződött, azonban a reaktortartály térfogata kevesebb, mint 500 m³. Feltételezhetően a gőz és a víz is szivárog, valószínűleg a reaktortartály alján. Március 16-a után a reaktortartály nyomását atmoszférikus nyomás környékén tartották, ami megegyezik a szárazakna nyomásával.

Március 20-a után kezdték el mérni a reaktortartály hőmérsékletét, amikor megnövelték a befecskendezett víz mennyiségét, ekkor a hőmérséklet 100 °C körül stabilizálódott. Amikor azonban március 29-e után csökkentették a befecskendezett víz mennyiségét, a reaktortartály hőmérséklete 150 °C-ra emelkedett. Ez azt jelenti, hogy jelentős mennyiségű üzemanyag maradt a reaktortartályban. 2011. augusztus végén a befecskendezett víz mennyisége 3,8 m³/h volt, a reaktortartály alján mérhető hőmérséklet 130 °C alá süllyedt és stabilizálódott (6-3. ábra). Jelentésünk véglegesítésekor a 2. blokk reaktorában a jellemző hőmérséklet 35°C körüli.



6-3. ábra: A Fukushima Daiichi 2. blokk hűtésével kapcsolatos releváns mért értékek 2011. március 11. és május 30. között [6.2]

Primer konténment tartály állapota

Március 15-én a primer konténment tartály nyomása átlépte a megengedett maximális 0,427 MPa (túlnyomás) értéket, és 0,6 MPa-ig emelkedett. Hasonlóan az egyes blokkhoz, feltételezhetően a tömítés itt is károsodott. A szárazakna nyomását a légköri nyomás környékén tartották, miközben feltehetően a keletkezett gőz egy része szivárog a megsérült tömítéseken keresztül.

A nyomáscsökkentő kamrában uralkodó nyomást az idő jelentős részében nem mérték, ebből kifolyólag nehéz megbecsülni az állapotát. Szintén nehézségekbe ütközött a száraz aknában lévő vízszint mérése. A nitrogén befecskendezését 2011. június 28-án kezdték el.

A reaktor hűtését 2012. március 14-én átváltották a pótvíz kondenzátum rendszerről a remanenshő-elvonó rendszerre. [6.4]

Fukushima Daiichi 3. blokk

A hidrogén robbanás itt március 14-én következett be. A robbanás lerombolta az üzemi és az efölötti szinteket, valamint az északi és a déli külső falakat, melyek az üzemi szint alatt helyezkedtek el és a hulladékfeldolgozó épületet. Március 18-ra sikerült helyreállítani az áramellátást.

A hidrogénrobbanás miatt radioaktív törmelék szóródott szét a blokk környékén, mely a tűzoltóautók és a tűzoltófecskendők egy részét tönkretette, a víz befecskendezést a robbanás után 5 órával sikerült helyreállítani.



6-4. ábra: A 3. blokk épülete a robbanás után [6.2]

Hűtés és a reaktortartály állapota

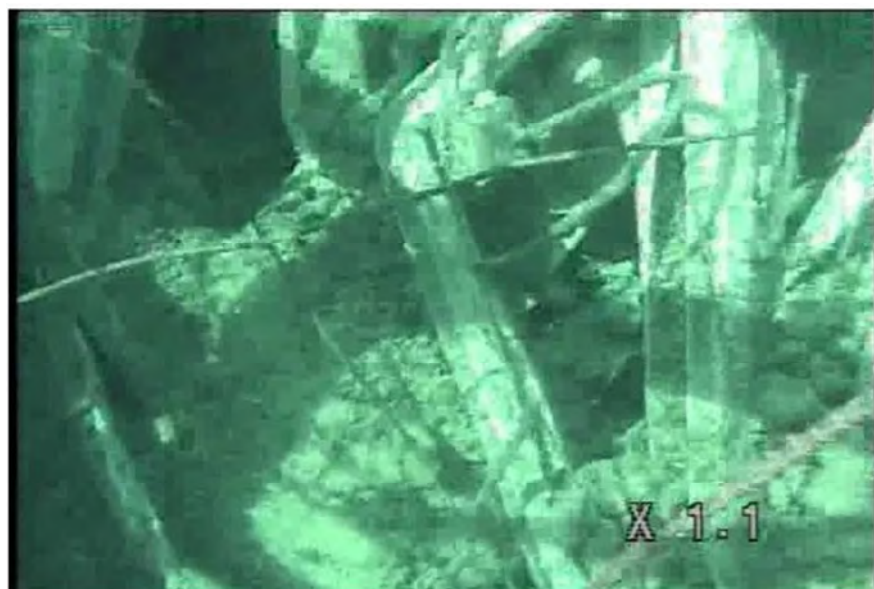
Május végéig összesen 20 625 m³ vizet fecskendeztek be, melyből 4500 m³ tengervíz. Mivel a TEPCO szerint 8700 tonna gőz keletkezett, a reaktortartály térfogata pedig megközelítőleg 500 m³, hasonlóan a másik két blokkhoz itt is egyaránt gőz és víz is szivárgott. A reaktortartály nyomása március 22-e óta közel atmoszférikus. 2011 augusztusában a befecskendezett víz mennyisége 7 m³/h volt, a reaktortartály alján mérhető hőmérséklet 120°C alá süllyedt és stabilizálódott. Március 30-a után a reaktortartály hőmérséklete 100 °C körül állandósult, a nyomással együtt. Jelentésünk véglegesítésekor a 3. blokk reaktorában a jellemző hőmérséklet 30°C körüli.

Primer konténment tartály állapota

A tömítések szintén megsérültek, melyeken keresztül szivárgás tapasztalható. A víz maximális hőmérséklete, mely a száraz akna alacsonyabb részétől folyik le a nyomáscsökkentő kamrába, 100 °C volt. A nitrogén befecskendezés július 14-én kezdődött. A reaktor hűtését 2012. március 12-én váltották át pótvízrendszerről a remanenshő-elvonó rendszerre [6.4].

Pihentető medence állapota

A víz mintavételezése során alkáli fémeket találtak a pihentető medencében, a víz kémhatása erősen lúgos volt a medencébe hulló törmelékekből történő kioldódás miatt (6-5 ábra). Emiatt az alumínium üzemanyag tartóállvány korrózióját is számításba kellett venni, ezért bórsavat engedtek a vízbe, hogy semlegesítse a lúgos kémhatást. Május 8-án a pH értéke 11,2 volt, ezt július 7-re sikerült 9,0-re csökkenteni. A víz hőmérséklete 2011. június 30-án 62 °C volt, amikor az alternatív hűtőrendszer működésbe lépett, majd július 7-én 30 °C környékén stabilizálódott.



6-5 ábra: A 3. blokk pihentető medence víz alatti képe a baleset után. Láthatóan rengeteg nagy méretű törmelék került bele [6.3]

Fukushima Daiichi 4. blokk

A hidrogénrobbanás március 15-én következett be, melynek hatására a nyugati fal összeomlott.

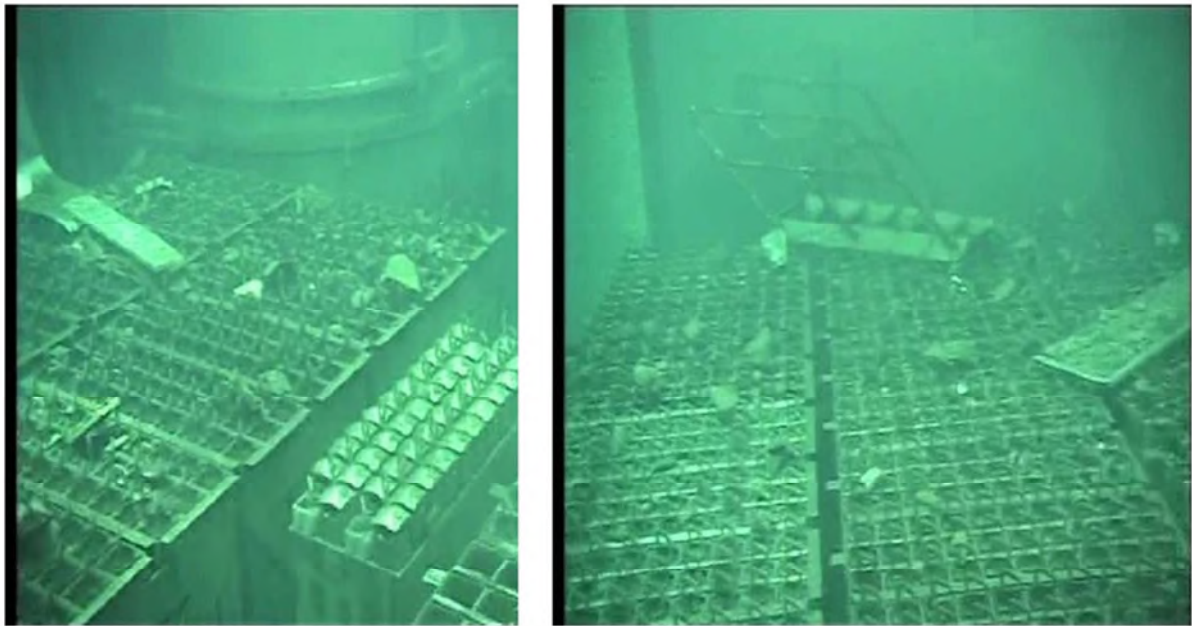
Pihentető medence állapota

Az izotóp analízis alapján a pihentető medence nem sérült, nincsenek repedések és a víz se szivárog belőle, valamint az üzemanyag rudak is épen maradtak.

A hidrogénrobbanást követően egy nappal helikopterrel szemrevételezték a medencét, és megállapították, hogy az üzemanyag sértetlen. A vízből április 12-én vettek mintát, és ellenőrizték a víz szintjét, ami ekkor az aktív zóna tetejétől számítva +2,1 m, de ez az érték 10 nappal később lecsökkent +1,7 méterre. Ez a várakozásoknak megfelelő volt, tekintve a befecskendezett víz mennyiségét és az elviendő hő által elpárologtatott mennyiséget. Április

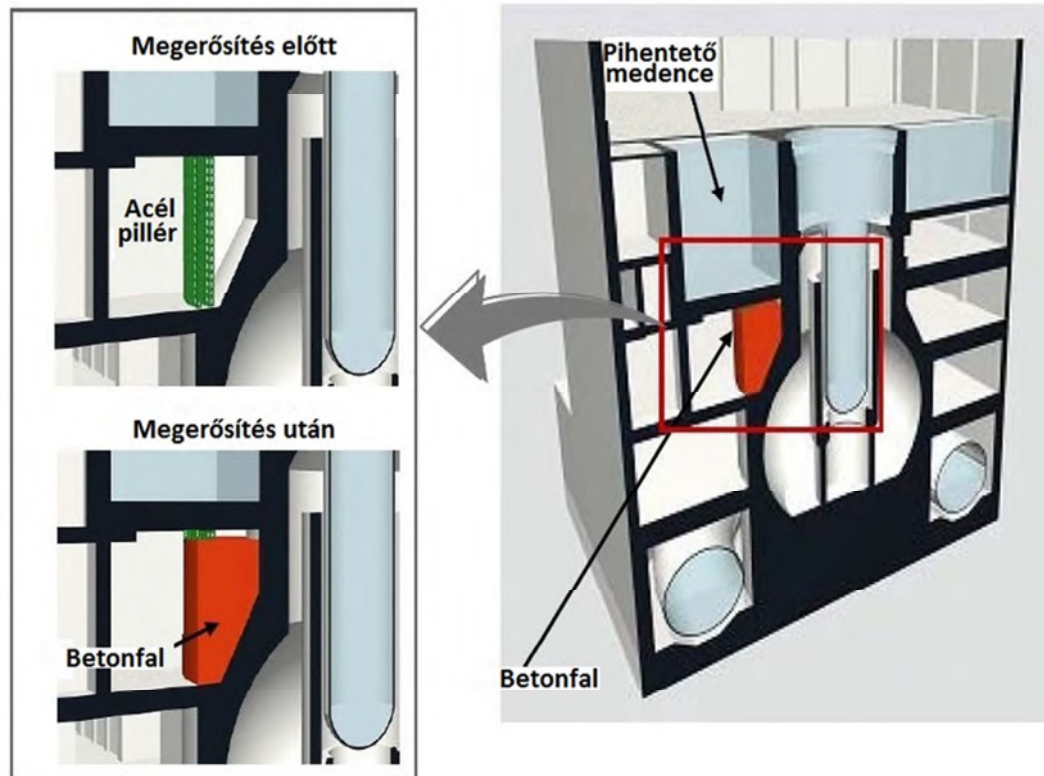
27-ig sikerült feltölteni a medence teljes térfogatát, június 14-ig összesen 5700 tonnányi vizet fecskendeztek be.

Június 19-én, megkezdtek a vízbefecskendezést a reaktoraknába és mellette lévő a tárolóaknába (átrakáskor ebbe helyezik a reaktortartályból a cseppleválasztót és a gőzsárítót) azért, hogy csökkentsék a dózisteljesítményt. Amint elérték a reaktorakna teljes vízbefogadó kapacitását, leálltak, és azt tapasztalták, hogy a reaktorakna vízszintje csökkenni kezd, de emelkedik a túlfolyó tartályban. Ezért úgy döntöttek, hogy a továbbiakban a pihentető medencébe juttatják a vizet. Június 31-én az alternatív hűtőrendszer segítségével megkezdődött a medence hűtése, ekkor a víz hőmérséklete 75 °C volt, majd augusztus 3-ra állandósult 40 °C körül.



6-6 ábra: Víz alatti felvétel a 4. blokk pihentető medence aljáról. A törmelék mennyisége lényegesen kisebb, mint a 3. blokk esetén [6.3]

A víz minőségét több alkalommal is ellenőrizték (2011. április 12, április 28, május 7), ezek a vizsgálatok szintén azt mutatták, hogy komoly sérülés nem érte. A bezuhanó törmelékek (6.6 ábra) miatt azonban ekkor még nem lehetett kizárni, hogy egy része mégis megsérült. Mivel a 4. blokk átrakás miatt állt, a reaktorakna, a gőzsárítót és cseppleválasztót tároló akna, valamint a pihentető medence fel volt töltve vízzel, illetve ezek egymástól zsillippel voltak elválasztva. Június 20-ig a TEPCO egy támasztószerkezetet telepített a pihentető medence alá, hogy növelje a szerkezeti biztonságot, csökkentse a medence szerkezetének terhelését (6-7 ábra).



6-7 ábra: A 4. blokk pihentető medencéje alá épített beton megtámasztás [6.3]

Hűtés, reaktortartály és a primer konténment tartály állapota

2011. április 27-én mérték meg először a balesetet követően a reaktorakna vízszintjét, mely az aktív zóna tetejétől számított +1,8 m volt. A nagy mennyiségű vízvesztés nem az elpárolgás miatt történt, hiszen a reaktorban nem volt belső hőforrás. A reaktor hűtését 2012. március 14-én váltották át a pótvíz kondenzátum rendszerről a remanenshő-elvonó rendszerre. [6.4]

A primer konténment szivárgását a levegőben lévő por mintavételezésével ellenőrizték a reaktorok épületeinek felső részében.

Fukushima Daiichi 5. és 6. blokk

Az 5. és 6. blokk esetében sikerült ugyan megőrizni a reaktorok hűtését, a szakemberek azonban féltek, hogy utórengések hatására mégis probléma lesz a hűtő és befecskendező rendszerekben, ezért a hidrogén felhalmozódásának elkerülésére március 18-án 3 lyukat fúrtak mindkét reaktor tetőszerkezetébe, melyek átmérője 3,5 – 7 cm volt.

Az 5. blokkban június 24-re sikerült helyreállítani a tartalék tengervíz szivattyút is, valamint lehetőségessé vált a pihentető medence és reaktortartály hűtése a reaktor hűtőrendszer és a pihentető medence hűtőrendszer szivattyúinak üzembe helyezésével. Június 27-én és 28-án az üzemzavari dízelgenerátorok (A) és (B) rendszereinek tesztüzeme is sikeres volt. Július 15-re a remanenshő-elvonó rendszer (B) szivattyút is helyreállították és működésbe helyezték.

Pihentető medencék

Az 5. és 6. blokkban, az energia ellátás biztosítva volt a 6. blokk üzemzavari dízelgenerátorai által és a hűtési funkció megőrizhető volt ideiglenes tengervíz szivattyúkkal, ezáltal a tároló medencék és a reaktorok hűthetőek voltak.

A telephelyi közös pihentető medence a március 11-i cunami során elvesztette a villamos betáplálást, így a medence hűtését is. Március 18-án megvizsgálták a közös pihentető medencét, és megállapították, hogy a medencében a szükséges vízszint biztosított volt. Március 24-én egy átmeneti hűtőrendszert telepítettek a medencéhez, így a kezdeti hőmérséklet-emelkedés után visszaállították a medence vizének hőmérsékletét. Az addig mért legmagasabb hőmérséklet 73°C volt, a hűtőrendszerek helyreállítása után ezt 30-40°C között stabilizálták.

A blokkokban felgyülemlett víz állapota [6.2]

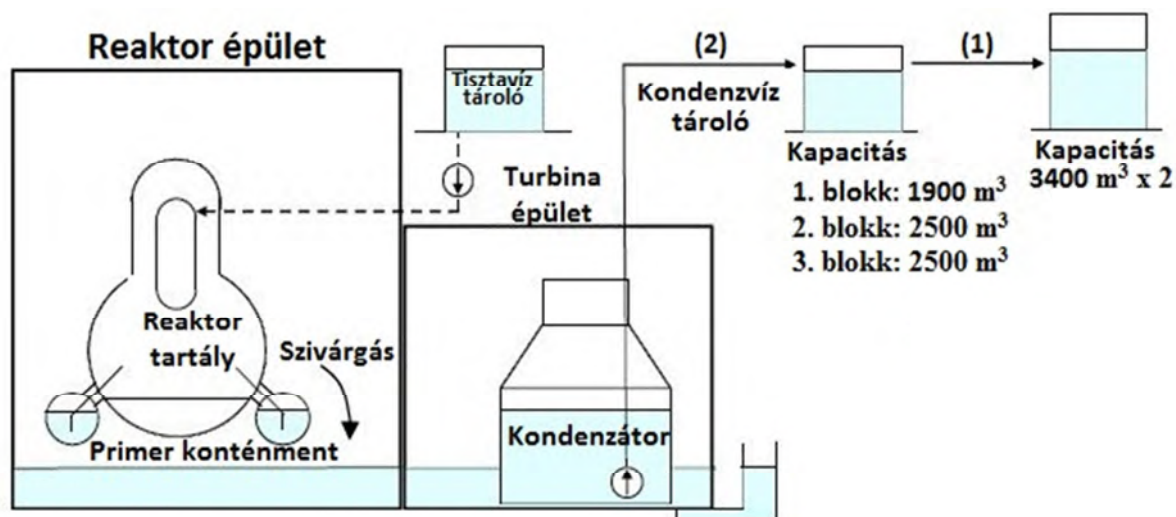
A balesetet követően megerősítést nyert, hogy az 1-től a 4. blokkig a turbinák épületei el vannak árasztva, mely jelentősen hátráltatja a helyreállítási munkákat is, ráadásul a 2. blokkban levő víz aktivitása rendkívül magas volt.

Emiatt a TEPCO úgy döntött, hogy a blokkokban felhalmozódott álló vizet átszivattyúzzák a kondenzátorba. Ennek végrehajtásához a kondenzátum tartályból átszivattyúzták a vizet a nedvesakna közbenső tartályba (6-8. ábra (1) jellel), majd a kondenzátorban lévő vizet átszivattyúzták a kondenzátum tartályba (6-8. ábra (2) jellel). A teljes felgyülemlett víz mennyisége a blokkokban becslések szerint ekkor 67 000 tonna volt.

A központi hulladékkezelő létesítményben felhalmozódott kis koncentrációjú radioaktív szennyvizet a tengerbe ürítették, hogy helyet szabadítsanak fel, hogy az 5. és 6. blokkban lévő biztonság szempontjából fontos eszközöket megvédjék az elárasztástól.

Kiégettüzemanyag-tároló épület

Alacsony elhelyezkedése miatt a cunami szinte teljesen elöntötte az épületet, valamint rengeteg homok és egyéb hulladék sodródott ide. A teljes energiakiesés ellenére fennmaradt a hűtési funkció, mivel eleve természetes levegő áramlású hűtést terveztek. A TEPCO több kivizsgálást is végrehajtott az épületben 2011. március 17-e óta, mely által megerősítést nyert, hogy a levegő természetes áramlása nem volt gátolva, így a hordók hűtve maradtak.



6-8. ábra: A turbina épületében felgyülemlett víz átszivattyúzási folyamata [6.2] (1: nedvesakna közbenső tartály, 2: kondenzátum tartály)



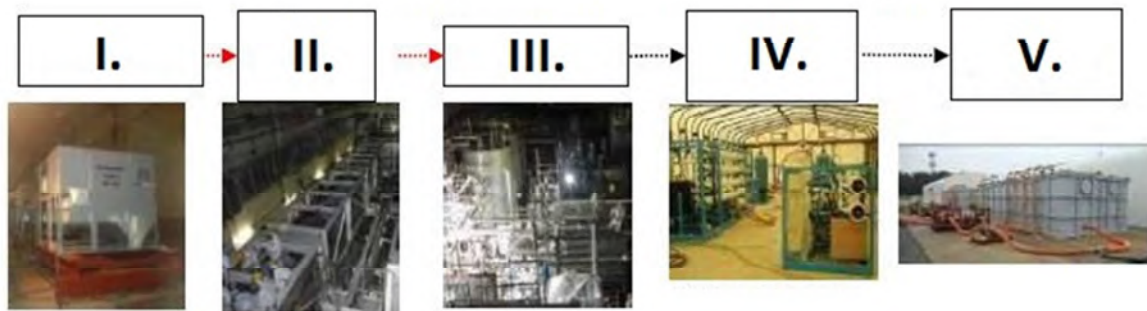
6-9. ábra: Az üzemanyag tároló hordók [6.3]

A vizuális ellenőrzés során kiderült, hogy egyik hordó sem sérült meg és mindegyik a helyén maradt (6-9. ábra). A hordók szigetelése nagyon jó minőségű, azonban szivárgási tesztek által nem nyert megerősítést ezek épsége.

A szennyezett víz kezelése

Ahhoz, hogy csökkenteni lehessen a felgyülemlett szennyezett víz mennyiségét, mindeközben pedig növelni a reaktorokba áramoltatott víz mennyiségét, karbantartási és menedzsment intézkedéseket vezettek be a vízkezelő létesítmények üzemeltetésére. További vízkezelő üzem, a cézium adszorpciós kezelő üzem (SARRY) létesítettek másodlagos kezelő létesítményként (6-10. ábra). Elpárologtató (koncentráció növelő) eszköz is üzemel a víz sótelenítés hatékonyságának növelésére. Összesen közel 67 000 tonna víz került kezelésre

2011. augusztus 31-ig. A kezelő létesítmények cézium dekontaminációs faktora 10^6 (azaz a szennyezett víz céziumtartalma egymilliomod részére csökken a kezelés során), a klór koncentrációt pedig 6600 ppm-ről 20 ppm-re tudták csökkenteni.

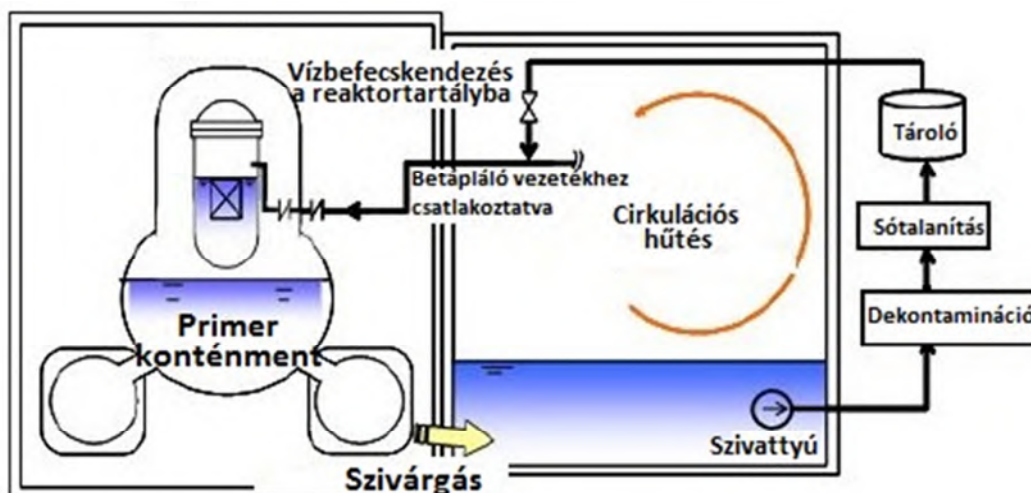


6-10. ábra: A szennyezett víz kezelési lépései [6.3]

A szennyezett víz megtisztításának a lépései a 6-10. ábrát követve:

- I. Olaj szeparáció
- II. Cézium adszorpció
- III. Dekontamináció
- IV. Sótalanítás (fordított ozmózis membrán rendszerrel)
- V. A kezelt víz tárolása

A kezelt víz visszaforgatásra került, azaz a turbina épületéből kiszivattyúzva került a kezelő állomásra, majd onnan vissza a reaktor tartályba (6-11. ábra). A Fukushima Daiichi 1-3. blokk esetében az ilyen elven működő szennyezettvíz-recirkulációs reaktorhűtés azóta is folyamatos.



6-11. ábra: A hűtésre felhasznált víz visszaáramoltatásának szemléltetése [6.5]

További telephelyen belüli intézkedések [6.3]

Földrengésvédett épület környezetének fejlesztése

Noha a balesetet követően rengeteg munkás volt az épületben – még ott is aludtak, amíg részt vettek a helyreállítási munkálatokban –, az nem volt kellőképp felkészítve a sugárzási hatásokkal szemben. Ennek javítására az alábbi intézkedések történtek.

Március 26-án beszereltek egy szénzsűrővel ellátott elszívó ventilátort, hogy a levegő radioaktív koncentrációját csökkentsék. Az ablakokhoz ólom pajzsot helyeztek, hogy a külső sugárzásnak ne tegyék ki az épületet (március 27.). A belépésnél egy ideiglenes zsilipen kellett áthaladni, hogy a szennyezést ne juttassák be az épületbe. Továbbá a padlók borítását is kicserélték járólapra, hogy ne tapadjon könnyen rá a szennyeződés, illetve könnyű legyen megtisztítani (április 1-8-ig).

A vezénylő fejlesztése

Hasonlóan az előzőekben leírtakhoz, minden vezénylőteremben felszereltek egy aktív szén szűrős elszívó ventilátort (2011. április 4-el kezdődően). A vezénylőteremhez vezető úton mérési területet jelöltek ki az 5. és 6. blokkokban, hogy meggátolják a radioaktív anyagok bevitelét (március 30-a után).

További tengervíz szennyezés megelőzése [6.3]

Április 2-án észlelték, hogy a Fukushima Daiichi 2. blokknál magasan sugárszennyezett víz gyűlt fel egy befolyó csatorna közelében, ahonnan az a tengerbe szivárgott (részletesen ld. az 5.1. fejezetet). Ekkor és az ehhez hasonló későbbi esetekben is betont használtak az aknák lezárásához (6-12. ábra). További vizsgálatok tárták fel, hogy a turbina épületekből – ahol nagy mennyiségű radioaktív víz halmozódott fel – is lehetséges a szivárgás a tengervíz csővezeték árkokon át a 2-4. blokkok esetén.

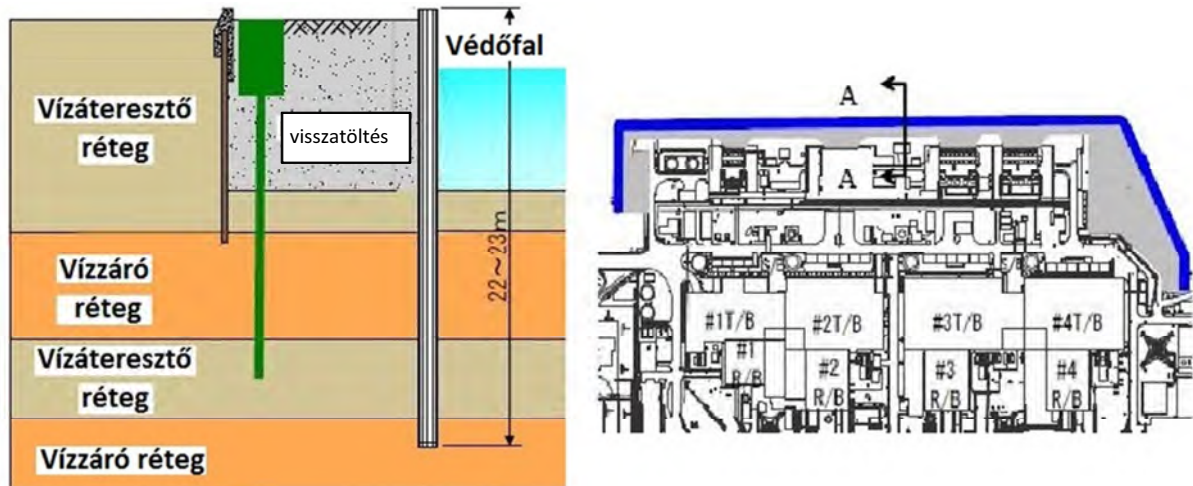


6-12. ábra: Fotó a kábelaknába történő szivárgásról (balra); az akna állapota a szivárgás megszüntetése (betonnal feltöltés) után (jobbra) [6.3]

Az összes olyan aknát, ahol hasonló szituáció előfordulhat, lezárták, még azokat is ahol a kapcsolat a tengerrel nem volt igazolt. A part menti acél védőlemezek a földrengésben megsérültek, ezért elővigyázatosságból a sérült helyeket feltöltötték habarccsal. Az 1-4. blokknál a vízkivételi csatornákat lezárták, a 2. blokknál emellett acéllemezeket is felállítottak, valamint úszó káróelemeket helyeztek mind a 4 blokk esetén a hidegági csatorna

elé, hatalmas homokzsákokkal együtt. A homokzsákokat zeolittal töltötték, hogy a radioaktív izotópokat eltávolítsák a tengervízből, valamint egy zeolittal töltött tengervíz-cirkulációs dekontaminációs rendszer is működésbe lett helyezve június közepén.

Arra is figyelmet fordítottak, hogy a tenger ne szennyeződjön a talajvíz által. Ennek megakadályozására egy közel 800 méter hosszú fal épül a part mentén (22-23 méteres) acélcső cölöpökkel, melynek alját a vízzáró rétegbe ágyazzák (6-13. ábra). Ennek megépítése kb. 2 évet vesz igénybe, elkészültét 2014 szeptemberére tervezik.



6-13. ábra: A vízzáró fal metszeti ábrázolása (balra); a vízzáró fal elhelyezkedése (késsel, jobbra) [6.3]

A Fukushima Daiichi blokkok [6.8]

A robbanás által keletkezett, kisebb méretű törmeléket távirányítású, környezethez jól alkalmazkodó robotok felhasználásával távolították el. A TEPCO olyan robotok fejlesztését is szorgalmazta, melyek nehéz, nagyméretű tárgyakat is kezelni tudnak, vagy képesek feldarabolni azokat. Az épületek dekontaminációjában is részt vesznek robotok. Ennek során két részre osztják a folyamatokat, az első a padló és a fal megtisztítását foglalja magában 2 méteres magasságig, a második pedig a 2 méteres magasság feletti részt, valamint a mennyezetet. A dekontamináció során alkalmazott technika függ a radioizotópok forrásától és a dózis szintjétől.

2013 közepén a TEPCO 3 féle dekontaminációs technikát tesztelt betonon történő alkalmazáshoz: a magas nyomású vízzel történő tisztítást, a szárazjéggel való abrazív koptatást és a fémes abrazív koptatást. Ezeket a technikákat leginkább robotokkal történő felhasználásra fejlesztik. A megtisztításra fejlesztett robotok ekkor még tesztelés alatt voltak, a 3. blokkból a törmelék összegyűjtését csak 2013 végén tudták megkezdeni.

A NAÜ misszió [6.8] az alábbiakat javasolta a TEPCO számára a dekontaminálással kapcsolatban:

- Figyelembe kell venni, hogy az emeleteken nem homogén eloszlású a sugárszennyezettségi szint, gócpontok alakultak ki.
- Különös figyelmet kell fordítani a robotok mentésére.
- A törmelékek eltávolítása után a fennmaradó potenciális radioaktív gócpontok fel kell deríteni.
- Meg kell vizsgálni annak a lehetőségét, hogy miután a törmeléket eltávolították, egyszerűsített dekontaminációs eljárásokat alkalmazzanak (félig távirányítással,

vagy manuálisan, ha lehetséges) azokon a területeken, melyeket nehéz robotokkal elérni.

Az 1-3. blokkokon a reaktor épületeinek állapotáról 2013 áprilisáig nem volt részletes információ, csak a vizuális megfigyelés (kizárólag robotok által) alapján készültek eddig feltételezések és becslések ezt illetően. A 4. blokk épülete a szimulációk alapján elegendően erős ahhoz, hogy a tervezési alapon lévő földrengést kibírja.

A mérések azt mutatják, hogy a növényzet megtisztítása, illetve eltávolítása jelentős mértékben csökkenti a sugárzási dózisteljesítményt a szennyezett területeken.

A városi területeken a lerakódás heterogén. Az épületek miatt a természetes légáramlás zavart, azaz olyan pontok alakulnak ki, ahol a radioaktív szennyező jobban fel tud gyűlni. Fontos tényező még, hogy a városi környezetben lévő felületek (házak falai, utak...) durvábbak, érdeesebbek, melyeken a száraz szennyeződés könnyebben megtapad. A lehulló csapadék hatására az esővíz elvezetőkben is szennyeződés gyűlik fel, gócpontokká alakulnak.



6-14 ábra: Tamura városban készült képek. A felső sor a megtisztítás előtti állapotokat mutatja, az alsó sor pedig az az utániakat [6.10]

6.2 Hosszú távú elhárítási terv (roadmap) [6.13], [6.16]

A Fukushima Daiichi atomerőművet ért balesetet követően a japán kormány és a TEPCO elkészítette a helyreállítás lépéseit összefoglaló dokumentum első változatát. Ebben két célt tűztek ki: a dózisteljesítmények folyamatos csökkentését (2011 júliusáig), valamint a radioaktív anyagok kibocsátásának ellenőrzés alá vonását és a sugárzási dózisok jelentős csökkentését (2011 decemberéig).

A Japán Atomenergia Bizottság (JAEC) 2011 augusztusában szakértői csoportot hozott létre a közép- és hosszútávú helyreállítási terv kidolgozására. A csoport megvizsgálta a sérült erőművi blokkok leszereléséhez szükséges technológiai feltételeket, és célként határozta meg, hogy a sérült üzemanyag eltávolítását tíz éven belül kell elkezdeni. A balesetet szenvedett atomerőmű teljes leszerelésének időtartamát harminc évre becsülték. A japán kormány és a TEPCO 2011. december 21-én fogadták el a közép- és hosszútávú elhárítási terv első változatát.

A elhárítási tervet 2012. július 30-án frissítették először, a nukleáris hatóság (NISA) javaslatára. 2013. február 8-án megalakult a TEPCO Fukushima Daiichi atomerőmű leszerelését irányító bizottsága, aminek a feladata összehangolni a sérült üzemanyag kiemeléséhez szükséges kutatási és fejlesztési tevékenységeket. 2013. június 10-én a bizottság közreadta az elhárítási terv legfrissebb változatát, figyelembe véve az addig elvégzett munkák eredményét és a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) szakértői csoportjának javaslatait [6.13].

A közép- és hosszútávú elhárítási tervet négy alapelv betartásával készítették el:

- A felmerülő problémák szisztematikus megoldása, miközben a helyi lakosság és a munkások biztonsága elsődleges figyelmet élvez.
- A munka kivitelezése során folyamatosan átlátható kommunikációt kell folytatni a helyi és országos lakossággal, a megértésük és tiszteletük elnyerése érdekében.
- A telephelyi állapotok és aktuális kutatás-fejlesztési eredmények ismeretében az elhárítási tervet folyamatosan frissíteni kell.
- A TEPCO és a kormány összehangolja a tevékenységét a elhárítási tervben kitűzött célok elérése érdekében. A japán kormánynak kezdeményeznie kell a leszereléshez szükséges lépések biztonságos és folyamatos végrehajtását.

A következő fejezetek az elhárítási terv elemeit ismertetik, ezek a:

- biztonsági intézkedések a közép- és hosszútávú helyreállítás végrehajtása során,
- közép- és hosszútávú helyreállítási intézkedések,
- a munka kivitelezésének rendszere és a megfelelő munkakörnyezet biztosítása,
- kutatás-fejlesztési tevékenységek, emberi erőforrások biztosítása,
- együttműködés a nemzetközi közösséggel,
- nemzeti és régióon belüli együttműködés.

Biztonsági intézkedések a közép- és hosszútávú helyreállítás végrehajtása során [6.13]

Az első alapelv betartásának érdekében a Fukushima Daiichi telephelyen a TEPCO folytatja a felszerelések, munkahelyek biztonságának fejlesztését, és a környezet terhelésének csökkentését célzó intézkedések kivitelezését.

2012. november 7-én az új nukleáris hatóság (Nuclear Regulation Authority, NRA) a Fukushima Daiichi erőmű telephelyét "különleges reaktor létesítménnyé" (Specified Reactor Facility) minősítette át. Különleges reaktor létesítménynek számítanak azok a telephelyek, ahol nukleáris baleset történt, ezért szükségintézkedések vannak folyamatban. Ez magával vonta egy új biztonság-menedzsment rendszer bevezetését, aminek a célja a kockázatcsökkentés és a biztonság növelése az erőmű területén belül és körülötte. Az NRA ezen felül megjelölte azokat a pontokat, ahol további biztonságnövelő intézkedéseket várt el. A TEPCO elkészítette a teljesítéshez szükséges megvalósítási tervet, ez a [6.13] roadmap elkészültekor felülvizsgálat alatt volt.

A megvalósítási terv stratégiai célja a különleges reaktor telephelyen található radioaktív anyagok telephelyen kívüli hatásának minimalizálása, hogy a térség helyreállítható legyen a baleset előtti állapotára. A stratégiai cél elérése érdekében három taktikai célt jelöltek meg: a leszerelés mielőbbi végrehajtása, az erőmű stabilitásának fenntartásával; a (nukleáris, radiológiai) biztonság fenntartása a telephelyen kívül (a lakosság kitettségének csökkentése); és a biztonság fenntartása a telephelyen belül (a munkások kitettségének csökkentése). Ezeknek a céloknak az eléréséhez minél előbb szükség van a fő veszélyforrások (pihentető medencékben lévő üzemanyag, sérült üzemanyag a reaktorban) eltávolítására. Szükség van továbbá a szennyezett víz kezelési technológiájának fejlesztésére.

A biztonságos leszereléshez szükséges a radioaktív kibocsátást akadályozó, a reaktorokat és a pihentető medencéket hűtő, a kritikusság elérésének megakadályozását és a hidrogénrobbanás elkerülését biztosító berendezések fejlesztése. Elsődleges fontosságú az áramforrások megbízhatóságának fenntartása és fejlesztése, az ideiglenes berendezések lecserélése állandókra. A TEPCO 2012 májusában elkészítette a berendezések hosszú távú üzemeltetési tervét, amely a következő pontokban foglalja össze a tennivalókat:

- Vízkészlet tárolási módjának módosítása: A tárolt víz mennyisége megnövelhető a kondenzátum táptartályok (condensate storage tank, CST) alkalmazásával. A rendszer kiépítését 2013 júliusáig tervezték, de a határidő további tartályok hozzáadása és egy távvezérlő rendszer kiépítése miatt kitolódott.
- Polietilén csővezetékrendszer kiépítése: A felgyülemlett víz szállítására eddig használt tömlőket a szivárgások elkerülése érdekében polietilén csövekkel helyettesítik. A 2. és 3. blokk közötti tömlőket 2012 augusztusáig kicserélték, és a teljes rendszer cseréjét 2013 júniusáig befejezték [6.14].
- Tartályok és egyéb vízkezelő eszközök hosszútávú üzemeltethetőségét biztosító eljárás kidolgozása: Kidolgozták a reaktorok stabil lehűtött állapotát fenntartó rendszerek felülvizsgálati és fenntartási tervét. Ehhez a tervhez kellett volna csatolni a tartályok javítási módszereinek tervét 2013 márciusáig, ezt a határidőt azonban 2013 szeptemberéig kitolták.
- Tartályszivárgások korai észlelése és a szivárgások kiterjedésének megakadályozása: A tartályokat kamerával figyelik, hogy időben észleljék a szivárgásokat. A tartályokat töltéssel vették körül és átereszeket alakítottak ki.
- Fontosabb fogyasztók áramforrásainak lecserélése: A külső áramforrásokból a fontos fogyasztók (pl.: pihentetőmedence) áramellátását biztosító ideiglenes berendezések szisztematikus lecserélése hosszú távon üzemeltethető rendszerekre.

A személyzet védelmét szolgálják még a védőfelszerelések, a dózisteljesítmények csökkentése dekontaminációval, és távvezérelt eszközök, pl. robotok, alkalmazása.

Közép- és hosszútávú helyreállítási intézkedések

A leszerelési terv részletes ütemtervét [6.13] tartalmazza. A leszerelési terv három fázisra tagolódik:

1. fázis: Miután a radioaktív anyagok kibocsátása ellenőrzés alá került és a dózisteljesítmény jelentősen csökkent, megkezdődik az elhárítási terv 1. fázisa. Ez a szakasz a pihentetőmedencékben tárolt üzemanyag kiemelésének megkezdéséig tart. Főbb elemei: intenzív felkészülési fázis a leszerelés végrehajtásához, felkészülés a pihentetőmedencékben tárolt üzemanyag kiemelésére, a sérült üzemanyag kiemeléséhez szükséges kutatás-fejlesztési tevékenységek kivitelezése és helyszíni felmérések megkezdése.
2. fázis: Az 1. fázis befejezésétől az üzemanyag-törmelék kiemelésének megkezdéséig tartó szakasz. Főbb elemei a kutatás-fejlesztési tevékenységek folytatása, és a törmelék kiemeléséhez szükséges javítások elvégzése a konténmenten.
3. fázis: A 2. fázis lezárásától a teljes leszerelésig tart. Ez tartalmazza a sérült üzemanyag kiemelését és a leszerelés lezárásához szükséges lépések kivitelezését.

2013. november 18-ig az 1. fázis munkálatai voltak folyamatban. A 2. fázis tervezett megkezdésének időpontját tartani tudták, mivel ekkor megkezdték a 4. blokk pihentető medencéiben tárolt üzemanyag kiemelését [6.15]. A 2. és 3. fázisban több technológiai kihívással kell szembenézni, helyenként több opció is lehetséges a projekt folytatására. Ezekben a helyeken ún. döntési pontokat (holding point, HP) definiáltak. A négy blokkra elkészített tervek az üzemanyag kiemeléséhez és a kapcsolódó döntési pontok a következő alfejezetekben kerülnek ismertetésre.

A Fukushima Daiichi 1. blokkra vonatkozó üzemanyag-eltávolítási tervek

Az 1. blokk reaktorépületének tetejét egy hidrogénrobbanás megrongálta, ezért 2011 októberében egy védőépületet húztak fel a reaktorépületre, hogy megakadályozzák a radioaktivitás környezetbe jutását. A helyreállításhoz az eltávolítható védőfedél és a reaktorcsarnok padlószintjének felső részét borító törmelék eltávolítását tervezték [6.13] elkészítésekor. A szeizmikus vizsgálatokat 2014. február 26-ig befejezték, a fő szerkezetben nem találtak sérüléseket [6.15].



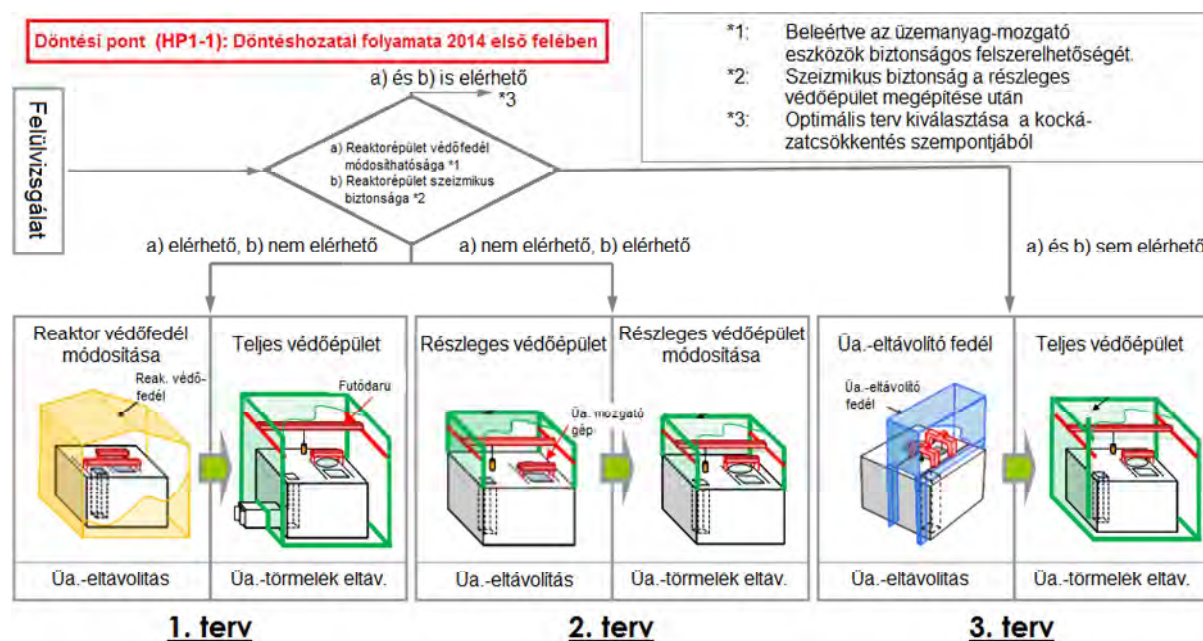
6-15. ábra: Az 1. blokkra felhúzott védőépület [6.18]

1. terv: Akkor megvalósítható, ha az eltávolítható védőfedél átépíthető (ehhez földrengés-állósági vizsgálat szükséges). Az üzemanyag-eltávolító berendezéseket ekkor a reaktorcsarnokban szerelnék be. A sérült üzemanyagot a védőfedél eltávolítása és egy teljes védőépület felépítése után távolítanák el. Ebben az esetben a pihentető medencék

üzemanyagának eltávolítása 2017 első felében, a sérült üzemanyag eltávolítása 2022 első felében kezdődhetne.

2. terv: A védőfedél nem módosítható. A védőfedélre ekkor egy részleges védőépületet építenének, ahová felszerelhetők lennének az üzemanyag eltávolításához szükséges eszközök. A céldátumok megegyeznek az 1. tervben kitűzöttel.

3. terv: Amennyiben sem az 1., sem a 2. terv nem megvalósítható, különböző módokon történne meg a pihentető medencékben lévő üzemanyag és sérült üzemanyag kiemelése. A céldátumok változatlanok.



6-16. ábra: A Fukushima Daiichi 1. blokk sérült üzemanyagának eltávolítási tervei [6.13]

Döntési pontok:

(HP1-1): Üzemanyag és sérült üzemanyag eltávolítási tervének megválasztása

A reaktorépület szeizmikus analízise, a védőfedél módosításának megvalósíthatósága és a teljes vagy részleges védőépület megépítéséhez szükséges feltételek fennállása alapján a megfelelő terv kiválasztása (2014 első fele).

(HP1-2): Üzemanyag-törmelék eltávolítási módjának megválasztása

Az 1. és 3. tervnél 2020 második felében, a 2. tervnél 2019 első felében kell meghatározni a sérült üzemanyag eltávolításának technikáját.

A Fukushima Daiichi 2. blokkra vonatkozó üzemanyag-eltávolítási tervek

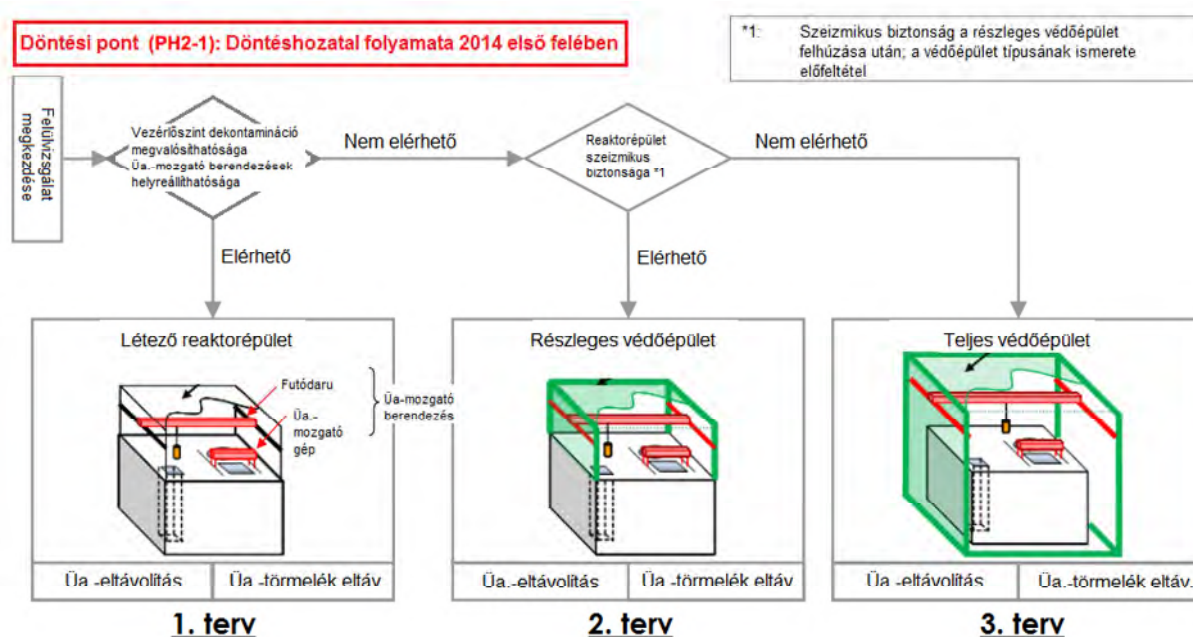
A 2. blokk nem szenvedett hidrogénrobbanást, de az épületben igen magas a dózisteljesítmény. A reaktorcsarnok padlószintek szennyezettségi vizsgálata tervezés alatt állt [6.13] elkészítésének idején. Az első méréseket 2014 február 1-én végezték, az összegyűjtött mintákat még elemzik (2014 április) [6.15].

1. terv: Amennyiben az üzemi szint dekontaminációja és a beépített üzemanyag-mozgató berendezések helyreállítása lehetséges, az üzemanyag-mozgató berendezéseket az üzemi szint megtisztítása után kijavítanák, és a sérült üzemanyagot kiemelő eszközöket is az üzemi

szinten helyeznék el. Az üzemanyag eltávolítása 2017 második felében, a sérült üzemanyag kirakása 2020 első felében kezdődne.

2. terv: Amennyiben az üzemi szint dekontaminációja és a beépített berendezések helyreállítása nem megvalósítható, az üzemanyag kiemelése egy részleges védőépület felhúzása után történne. Az üzemanyag kirakása 2020 első felében kezdődne, a sérült üzemanyag kirakása 2021 első felében.

3. terv: Amennyiben sem a dekontamináció, sem egy részleges védőépület felhúzása nem lehetséges (utóbbi szeizmikus okokból), teljes védőépületet kell építeni a reaktorépület köré. Ebben az esetben a sérült üzemanyag eltávolítása 2024 első felében kezdődhet, a pihentető medence üzemanyagát előbb, 2023 első felében kezdenék kirakni.



6-17. ábra: A Fukushima Daiichi 2. blokk sérült üzemanyagának eltávolítási tervei [6.13]

Döntési pontok:

(HP2-1): A sérült üzemanyag eltávolítási tervének megválasztása. A kiválasztásnál figyelembe kell venni a reaktorépület szeizmikus analízisének eredményét, a reaktorcsarnok padlószintjének szennyezettségét és az üzemanyagmozgató berendezések helyreállíthatóságát (céldátum: 2014 első fele).

(HP2-2): Üzemanyag-törmelék eltávolítási módjának megválasztása

Az 1. és 2. terv esetében 2018 első felében, a 3. tervnél 2021 első felében meg kell választani a sérült üzemanyag eltávolításának módját.

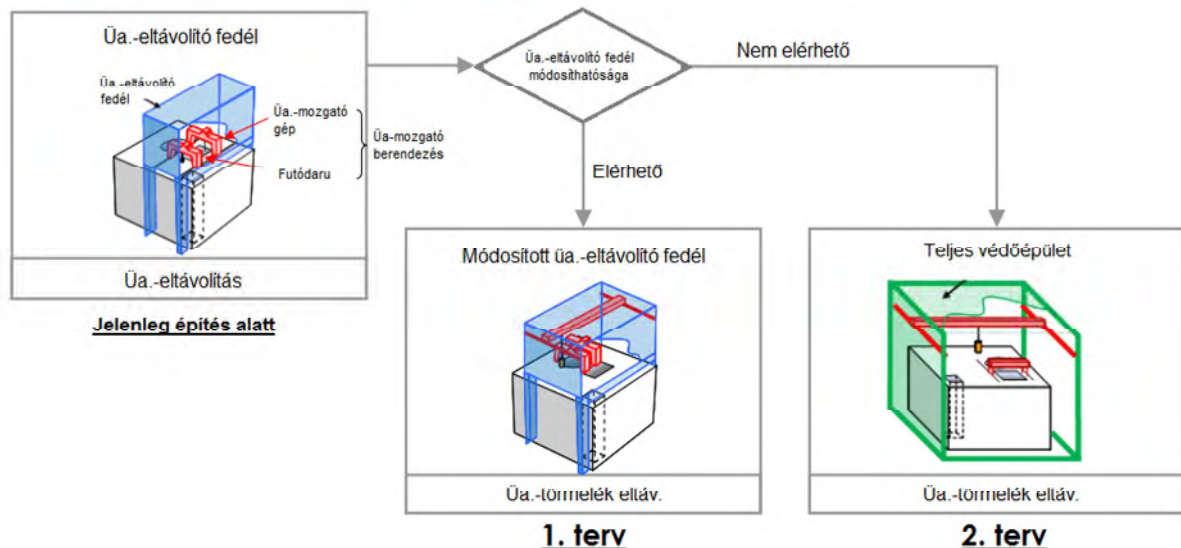
A Fukushima Daiichi 3. blokkra vonatkozó üzemanyag-eltávolítási tervek.

A 3. blokk reaktorcsarnok padlószintjének felső részében a törmelék bonyolult formában gyűlt össze, valamint a dózisteljesítmény is igen magas. A [6.13] megjelenéskor zajlott a törmelék eltávolítása, és építés alatt állt az üzemanyag eltávolítását lehetővé tevő védőfedél. 2014 márciusának végén még tartott a törmelékek eltávolítása, miközben elkészült a védőfedél egy része [6.15]. A dekontaminációt távirányítású berendezésekkel végzik.

1. terv: Amennyiben a védőfedél módosítható, a pihentető medencékben lévő üzemanyag eltávolítása a védőfedélre épített eszközök segítségével történik, majd a módosított védőfedélre szerelik fel a sérült üzemanyagot eltávolító berendezéseket. Az ép üzemanyag eltávolítása 2015 első felében kezdődik, a sérült üzemanyagé 2021 második felében.

2. terv: Amennyiben szeizmikus okokból nem módosítható a védőfedél, teljes védőépület felállítása szükséges. A pihentető medencék üzemanyagának eltávolítása 2015 első felében indul, a sérült üzemanyagé 2023 első felében.

Döntési pont (HP3-1): Döntéshozatal folyamata 2015 első felében



6-18. ábra: A Fukushima Daiichi 3. blokk sérült üzemanyagának eltávolítási tervei [6.13]



A reaktorépület a nagyobb törmelések eltávolítása után

Az üzemanyageltávolító fedél terve

6-19. ábra: A 3. blokk a nagyobb törmelések eltávolítása után és a tervezett védőfedél [6.15]

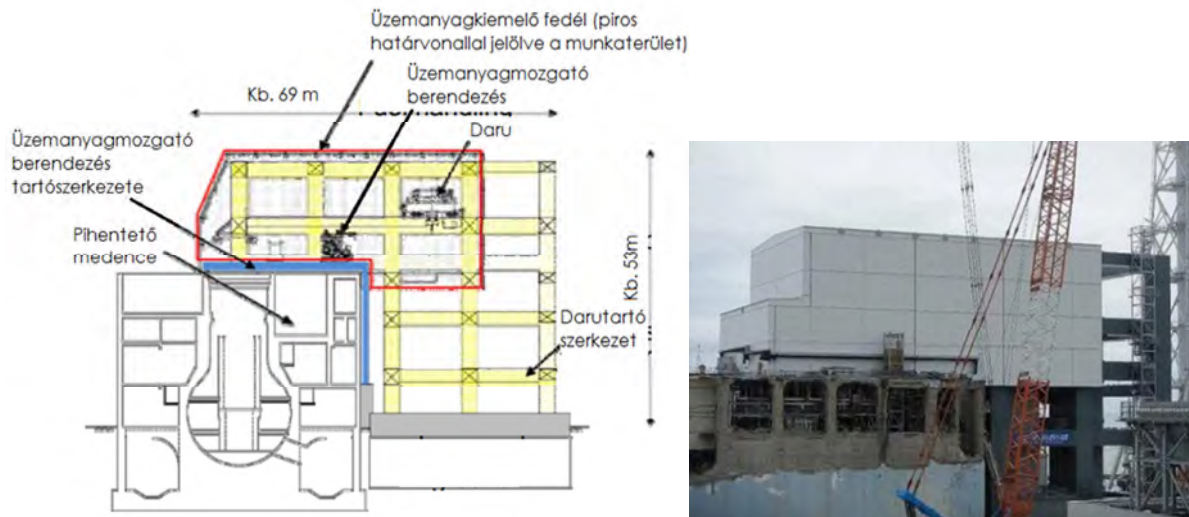
Döntési pontok:

(HP3-1): Üzemanyag-törmelék eltávolítási terv megválasztása szeizmikus analízis és a védőfedél módosításának megvalósíthatóságának alapján.

(HP2-2): Üzemanyag-törmelék eltávolítási módjának megválasztása. Mindkét terv esetében 2019 második felében meg kell választani az üzemanyag-törmelék eltávolításának technikáját.

A Fukushima Daiichi 4. blokkra vonatkozó üzemanyag-eltávolítási tervek.

A 4. blokk üzemi szintjén található törmelék eltávolítása 2012 decemberéig megtörtént. Az üzemanyag eltávolítása elkezdődött, a kirakás helyzetéről az aktuális információkat a 6.4.2. fejezet tartalmazza.



6-20. ábra: A 4. blokkra felhúzott védőépület sematikus ábrája, illetve az épület kívülről [6.17]

Közös berendezések és kérdések

A pihentető medencékből eltávolított üzemanyag az erőmű területén kialakított közös medencébe kerül, a cunami előtt a közös medencében tárolt ép üzemanyag a 2013 áprilisában beüzemelt ideiglenes elkülönített tároló területre. A közös medencéből az üzemanyag átrakása száraz hordókba és a tároló területre szállítása 2013 első felében megtörtént, a közös tárolómedencét 2014 első felében kezdik el átalakítani a pihentető medencékből kiemelt üzemanyag befogadására.

A reaktorépületekből eltávolított üzemanyag elhelyezését és épségben tartását hosszú távon is meg kell oldani. 2017-ig kell megvizsgálni, milyen módon tartható épen az üzemanyag, és hogyan kezeljék a sérült üzemanyagot. 2020-ig kell meghatározni a kiégett üzemanyag végleges tárolási és kezelési módját (HP SF-1).

A sérült üzemanyag helye és tulajdonságai, a konténment és a reaktortartály sérült részeinek elhelyezkedése jelenleg nem ismert [6.15], azonban a munkásokat ért sugárdózis szempontjából a legcélszerűbb a törmelékek víz alatt történő eltávolítása lenne. Ehhez a TEPCO a következő pontokban összefoglalt tervet dolgozta ki:

- Sugárzási szintek csökkentése a reaktorépületekben: a reaktorépületek belsejét át kell vizsgálni és meg kell becsülni a szennyezettségüket, valamint azonosítani kell a megfelelő dekontaminációs eljárásokat. Először a 2. blokkot vizsgálják át, itt 2014 első felében be kell fejezni a konténment alsó felének dekontaminációját, hogy megkezdődhessenek a vizsgálatok. 2015 első felére a konténment felső részét is sugármentesíteni kell. 2019 második felére minden reaktorépületben be kell fejezni a sugárzási szintek csökkentését.

- Konténmentek átvizsgálása és kijavítása: A konténmenteket át kell vizsgálni és ki kell javítani, hogy eláraszthatóak legyenek a munka későbbi szakaszában. Alternatív módszerként meg kell vizsgálni a törmelék eltávolításának módját, amennyiben a konténmenteket nem lehetne elárasztani. 2016 második feléig ki kell választani a 2. blokk konténment alsó felének kijavítási módját (HP DE-1), 2017-ig meg kell kezdeni a javításokat és 2018 első feléig ki kell választani a felső rész javítási módját.
- Konténmentek belsejének átvizsgálása: Mivel az eltávolításhoz szükség van a törmelék helyének, alakjának és eloszlásának a meghatározására, ki kell fejleszteni az ehhez szükséges eszközöket, és át kell vizsgálni a konténment tartályok belsejét. 2016 második feléig meg kell határozni az átvizsgálás módját (HP DE-2) meg kell kezdeni a vizsgálatokat.
- Reaktortartályok belsejének átvizsgálása: A törmelék eltávolítása megkívánja a reaktortartályok belsejének átvizsgálását is, az ehhez szükséges technológiákat ki kell fejleszteni. 2018 második felére ki kell választani a reaktortartályok átvizsgálási módját (HP DE-4), 2019 második felében meg kell kezdeni a vizsgálatokat.
- A sérült üzemanyag és egyéb törmelék eltávolítási technológiájának kifejlesztése: A törmelékek tulajdonságainak ismeretében ki kell választani a reaktorok felnyitásához és a reaktorokban lévő anyagok eltávolításához szükséges technológiát (határidő: 2018 első fele [HP DE-5], munka megkezdése: 2020 első fele).
- Sérült üzemanyag konzerválása, szállítása és tárolása: A reaktoron belüli állapotok ismeretében kell kiválasztani a megfelelő technológiákat. 2019 második felére tervezik a törmelékeket tároló konténerek elkészítését (HP DE-5).
- Konténment és reaktortartály szerkezet elemek sértetlenségének vizsgálata: Mivel a konténmenteket és a reaktortartályokat tengervízzel árasztották el, a reaktortartályt tartó szerkezetek anyaga a tengervíz korrodáló hatása, valamint a baleset utáni magas hőmérséklet miatt sérülhettek. 2015 második feléig kell elvégezni a szerkezeti anyagok sértetlenségének vizsgálatát.
- Sérült üzemanyag szubkritikusságának felügyelete: A sérült üzemanyag újra kritikus állapotba kerülését meg kell akadályozni akkor is, ha az elárasztás miatt a törmelék alakja megváltozik. Ehhez szükséges a megfelelő mérőberendezések és neutronabszorberek kifejlesztése. 2019 második feléig kell kifejleszteni a törmelékek kritikusságát szabályozó technológiát.
- A reaktorokon belüli körülmények megértése fejlett baleset-elemzési kódok segítségével: Amíg a fizikai megfigyelés nem lehetséges, fejlett baleseti analízis kódok (MAAP, SAMPOSON) segíthetik megérteni a baleset hatásait. A kódokat a balesetből nyert tapasztalatok alapján tovább is fejlesztik.
- A sérült üzemanyag tulajdonságainak megértése és felkészülés a feldolgozásra/elhelyezésre: A törmelék tulajdonságait szimulált és a Three Mile Island erőmű balesete során keletkezett törmelékeken végzett kísérleteken keresztül vizsgálják. 2015 második felére befejeződik a szimulált törmelékek vizsgálata, 2016 első felére meg szeretnék kezdeni a valós törmelékminták vizsgálatát. 2019 második felében a valós törmelékek karakterisztikáit már fel szeretnék használni a törmelékfeldolgozó és -tároló technológiákkal kapcsolatos kutatásoknál. A feldolgozás és elhelyezés módjának a megválasztására a 3. fázisban kerül sor (HP DE-6).
- A törmelékben található sugárzó anyagok nyilvántartása: A NAÜ-vel kötött megállapodás és a japán törvények értelmében a törmelék sugárzó anyag tartalmát be kell jelenteni mind az illetékes japán hatóságnak, mind a NAÜ-nek. A törmelékből minden évben mintát kell venni és a változásokat bejelenteni. 2014 első felében el kell kezdeni a sugárzó anyagok mennyiségének mérésére alkalmas technológia

kifejlesztését és a sugárzó anyag mennyiségének szabályozására tett intézkedések kidolgozását. 2019 második felére készen kell állnia a technológiának.

A hidegleállítás állapotának folyamatos ellenőrzése és hűtési tervek

Az 1. és 3. blokkban lévő sérült üzemanyag folyamatos hűtésére a reaktor stabil állapotának fenntartásához van szükség. A vízbefecskendezés és a hőmérséklet folyamatos mérése mellett vizsgálták egy konténmenten belüli hűtőkör kialakítását, ami lehetővé tenné a konténmenten kívülről történő hűtővíz-befecskendezés lecserélését, és megkönnyítené az üzemanyag kiemelését.

Reaktortartály és konténment hőmérsékletének ellenőrzése

Az 1. és 3. blokk reaktortartályaiban elhelyezett hőmérők a baleset után üzemképesek maradtak, és jelenleg is ezekkel történik a hőmérséklet ellenőrzése. A 2. blokkban csak egy hőmérő maradt működőképes, ezért egy ideiglenes berendezést is be kellett szerelni. Az 1. és 2. blokk konténmentjeiben állandó hőmérséklet- és vízszintmérő berendezéseket helyeztek el, a 3. blokkban a magas dózisteljesítmény miatt ez csak a jövőben lehetséges. A szubkritikus állapot fennmaradását a konténmentekben található radioaktív nemesgáz (Xe-135) koncentrációjának mérésével figyelik.

Hidrogénrobbanás esélyének csökkentése

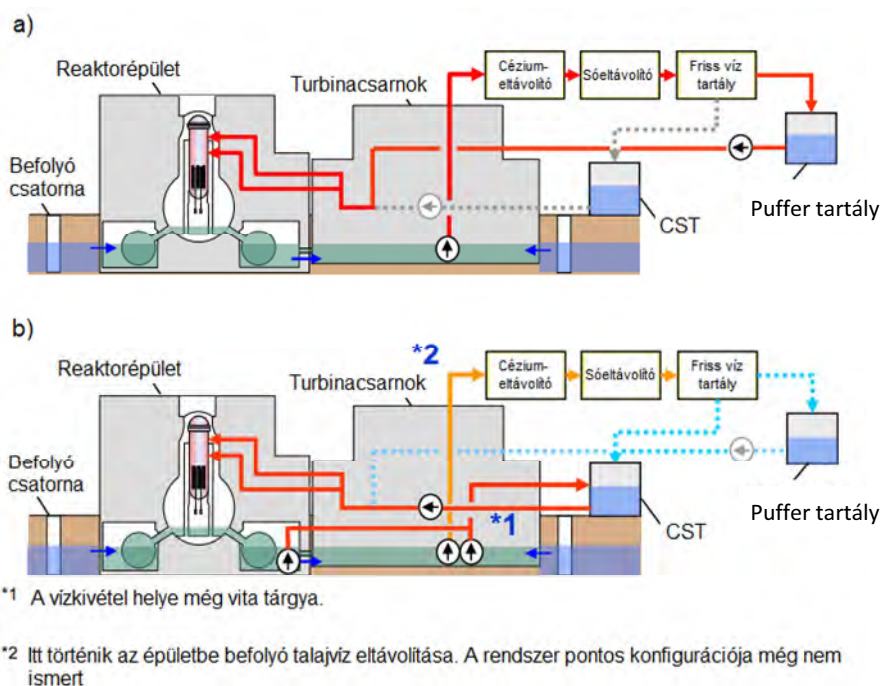
A víz radiolízise következtében az 1. és 3. blokkok reaktoraiban hidrogén termelődhet, mely felrobbanhat. Ennek elkerülésére a reaktortartályokat és a konténmentet folyamatosan nitrogénnel töltötték fel (a hidrogénkoncentrációt ugyanakkor 4% alatt kell tartani). A nitrogénbetáplálást és a hidrogénkoncentráció mérését a jövőben is fenntartják.

A hűtővízkeringető berendezések megbízhatóságának növelése

A szivárgások megszüntetése a hűtővíz-keringető rendszerben elsődleges fontosságú, ezért a csővezeték rendszer számos elemét lecserélik, optimalizálják (vízforrás cseréje, tömlők cseréje polietilén csövekre, szivattyúk távvezérlésének megoldása). A vízforrások cseréje és a tömlők lecserélése megtörtént [6.14], [6.15].

Hűtővíz-keringető rendszer méretének csökkentése

Jelenleg a 6-21. ábra a) oldalán látható nagy hűtővíz kört alkalmazzák az üzemanyag hűtésére. 2014 végéig kialakítanak egy kis hűtővíz kört (6-21. ábra b), ami az épületekben összegyűlt vizet keringetné, így csökkentve a szennyezett víz szivárgása okozta veszélyeket.



6-21. ábra: [6.13] elkészülése idején üzemelő és tervezett hűtőkörök összehasonlítása [6.13]

Pihentető medence hűtőkörének biztosítása

A pihentető medencék hűtése jelenleg megoldott, a továbbiakban a megbízhatóság növelésére koncentrálnak. 2013 márciusáig megnövelték a felhasználható áramforrások számát, így csökkentve az áramkimaradások okozta kockázatot. A jövőben a szivattyúk számát is növelnék.

Tervek a szennyezett víz kezelésére

A szennyezett víz tengerbe való leeresztése nem tekinthető reális megoldásnak. A szennyezett víz kezeléséhez drasztikusan korlátozni kell az épületekbe bejutó (és ott szennyezetté váló) talajvíz mennyiségét, fejleszteni kell a vízkezelő rendszert, és további tartályok létesítésével növelni kell a rendelkezésre álló tárolókapacitást.

Talajvíz bejutásának megakadályozása

Jelenleg a hegyoldal felől az erőmű épületei felé áramló talajvíz bejutását egy, az épületeket elkerülő bypass rendszer kiépítésével korlátozzák. Ezzel a lépéssel a $400 \text{ m}^3/\text{nap}$ beömlő vízmennyiséget $300 \text{ m}^3/\text{napra}$ kívánják korlátozni. További korlátozó intézkedés a befolyó csatornák megépítése, amivel a vízszintet szabályozhatják. A jövőben megnyitják a földrengés által használhatatlanná tett befolyó csatornákat, és telepítenek egy víztisztító rendszert. A befolyó csatornák rendszere tűnik a talajvíz szintszabályozás leghatékosabb módjának a meglévő létesítmények felhasználásával, azonban hátránya, hogy a meglévő befolyó csatornák a baleset következtében megteltek radioaktív anyagokkal. 2014 szeptemberében [6.15] szeretnék megkezdeni az újonnan épült és újra üzembe helyezett befolyó csatornák üzemeltetését.

A legfontosabb intézkedés a talajvíz kizárására a szennyezett vizet tartalmazó épületek köré felhúzendó vízzáró fal megépítése. A talajfagyasztásos technikával megépítendő fal megvalósíthatósági tanulmányt készítettek és 2014. március 14-én kezdték a technológia tesztelését, majd 2014 júniusában a fal építését is. A falnak 2015 első felére kell elkészülnie. A pontos építési módszer meghatározása a HP IW-1 döntési pontban történik.

A négy blokk épületeinek külső falain összesen 880 db áteresztő nyílás található. Ezeket is be kell tömni, hogy a talajvíz ne jusson be. A betömés történhet földdel vagy habarcs nedvesaknába történő befecskendezésével. A nedvesakna feltöltését 2014-ben tervezik megkezdeni.

Szennyezett víz eltávolítása a tengervíz csővezeték árkokból

A 2. és 4. blokk tengervíz csővezeték árkaiban erősen szennyezett radioaktív víz található. Ennek az óceánba jutását meg kell akadályozni, ezért a szennyezett vizet el kell távolítani és fel kell tölteni az árkot. 2014-ben tervezik az ezzel a feladattal kapcsolatos munkák elvégzését.

Vízkezelő rendszer fejlesztése

A szennyezett vízből a radioaktív anyagokat eltávolító továbbfejlesztett folyadékfeldolgozó rendszer (Advanced Liquid Processing System; ALPS) próbaüzeme körülbelül fél éves csúszással kezdődött 2013 márciusában. A veszélyes anyagok koncentrációjának csökkentése érdekében három ilyen víztisztítórendszer üzemeltetését tervezték. A megbízhatóság növelése érdekében a vízkezelő rendszer tömlőit polietilén csövekre cserélték. Az ALPS rendszer nem csökkenti a trícium koncentrációt, ez a probléma még megoldásra vár.

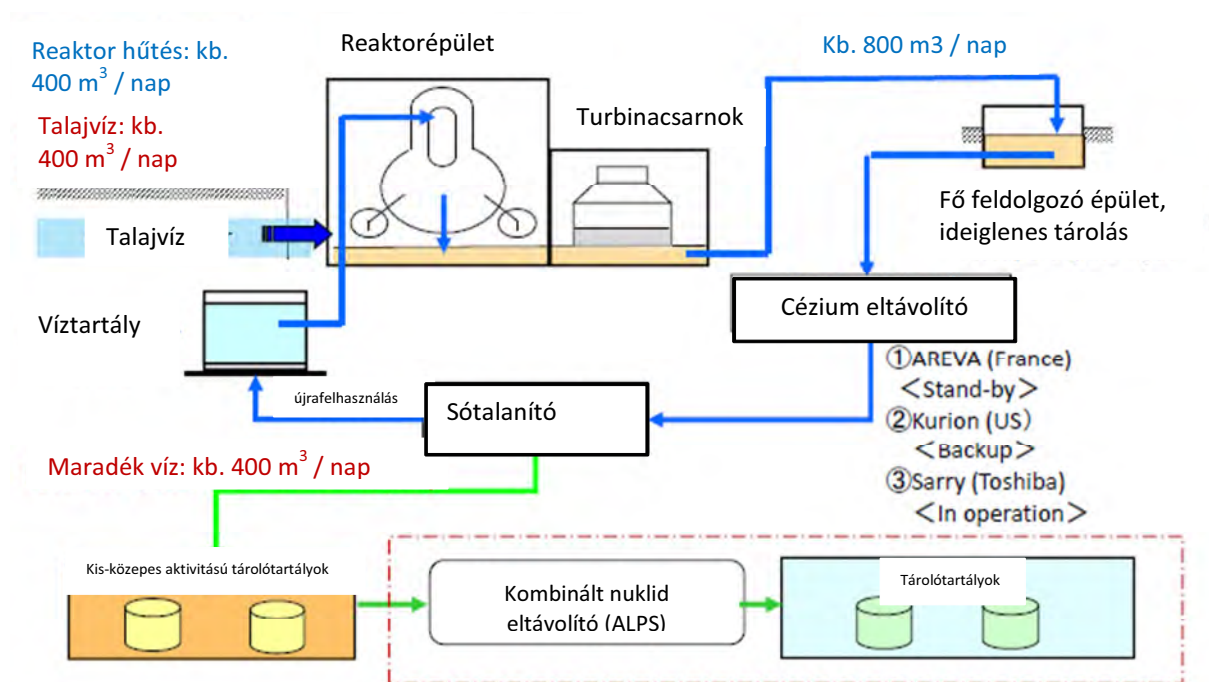
Tartályok kapacitásának növelése

A szennyezett víz közép- és hosszútávú tárolását is meg kell oldani, ezért fel kell mérni a jövőbeni kapacitásigényeket. Ezt befolyásolja, hogy milyen lépésekkel, mennyire sikerül csökkenteni a talajvíz beszivárgását. A szennyezett víz kezelésével foglalkozó bizottság számításai szerint 2014 áprilisáig körülbelül 450 000 m³, 2015 áprilisáig kb. 550 000 m³ és 2021 januárjáig kb. 800 000 m³ tárolókapacitásra lesz szükség, ez azonban valószínűleg már nem fog tovább emelkedni. Tartalékként 10 000-70 000 m³ tárolókapacitás mindig rendelkezésre fog állni. 2015 közepéig a tartályok kapacitását 700 000 m³-re emelnék, 2016-ban pedig 800 000 m³-re.

Szennyezett víz kezelésének lépései

Az első időszakban a talajvíz szintjének a csökkentésére kell koncentrálni, illetve meg kell oldani a beszivárgó talajvíz mennyiségének a szabályozását.

A második időszak korai szakaszában telepítik a reaktorépületben található szennyezett vizet eltávolító szivattyúkat (2015 első fele). A középső szakaszban elemzik a reaktorépület, turbinacsarnok és a konténment bizonyos részein álló víz helyzetét, és az elemzés eredményeként építik ki a keringető kört. A második időszak késői szakaszában megszüntetik a konténmentek szivárgását (2018) és 2020-ban befejeződik az épületekben összegyűlt szennyezett víz dekontaminációja.



6-22. ábra: A jelenlegi vízkezelő rendszer [6.26]

Tervek a telephelyen belüli sugárzási szint csökkentésére és a szennyeződés terjedésének megakadályozására

Tengeri szennyeződés terjedésének megakadályozása

A blokkok öböl felőli vízbeömlőinek környezetében nem csökkent a tengervíz aktivitáskonzentrációja kellő mértékben. Ezért a radioaktív céziumot el kell távolítani a tengervízből. A radioaktív stroncium eltávolítása bonyolultabb kérdés, az eltávolítási eljárásokat még fejleszteni kell. A parti vízzáró fal felépítése 2012 áprilisában megkezdődött, ez megakadályozza további radioaktív anyagok talajvízzel történő óceánba diffundálását. Az építkezés 2014 közepére befejeződik. 2013 végéig rostos abszorbenssel ellátott tisztítórendszert helyeztek el a beömlőcsatornák nyílásainál, ezzel csökkenthető volt a céziumkoncentráció.

Hulladékmenedzsment és dózisteljesítmény csökkentése a telephely határain

Gáznemű szennyezők kezelése

A konténmentből a környezetbe kijutó gázok mennyiségét a konténment gázkezelő rendszerével csökkentik. A kijutó por mennyiségét a szellőztető rendszer kilépésénél, valamint a reaktorépület, a turbinacsarnok és a hulladékkezelő épület nyílásainál mérik. A használt céziumabszorberek ideiglenes tárolóhelye is sugárforrás, ezért annak környezetét is folyamatosan monitorozzák. A 3. és 4. blokkokra épített fedél és szellőztető rendszer gondoskodik arról, hogy az üzemanyag-eltávolítás során ne növekedjen a kibocsátás.

Folyékony szennyezőanyagok kezelése

A folyékony szennyezők közé tartozik például a szennyezett hűtővíz. Ezeket az anyagokat tárolják, vagy a vízkezelő rendszerrel dekontaminálják. A dekontaminált vizet tovább tárolják, vagy sóeltávolítás után újra felhasználják.

Sugárzási szint csökkentése a telephely határain

A kihulláshoz és szennyezett hulladékokhoz köthető, telephelyen kívüli többletdózsist 2012 végéig a kitűzött 1 mSv/év szintre csökkentették. A 2013. áprilisi szennyezettvíz-szivárgás miatt azonban a telephely határain mért sugárzás maximális értéke 7,8 mSv/év-re nőtt. Az ALPS rendszer alkalmazásával csökkentenék a kiszivárgott víz aktivitását.

Telephely dekontaminációja

A telephely dekontaminációja több lépésben történik. Prioritást élveznek azok a területek, ahol munkások tartózkodnak. A földrengésbiztos épület, a bejárat kapu és a beléptető épület körüli területeken csökkentették a dózisteljesítményt. 2014-ben folytatják a dekontaminációt az egészségügyi és vállalati épületek körül, az 5. és 6. blokk körül, valamint a fő utakon. Cél a baleset előtti körülmények minél jobb helyreállítása a teljes telephely területén.

Szilárd radioaktív hulladékok kezelése és mentesítése

A szilárd hulladékok kezelése szempontjából elsődleges fontosságú, hogy a lehető legkevesebb csomagolóanyagot és munkagépet kell behozni a telephelyre, és a lehető legtöbb anyagot újra kell hasznosítani. Egy biztonságos ideiglenes tároló kialakítására így is szükség van.

A baleset során keletkezett szilárd radioaktív hulladékok feldolgozási és mentesítési technológiáját 2021-ig tervezik kidolgozni (HP SW-2 döntési pont). A hulladékok tulajdonságaival kapcsolatos kutatások jelenleg több helyen is folynak, és 2017-ig tervezik egy radioaktív anyagok kutatásával foglalkozó intézet létrehozását.

A telephelyre behozott munkagépek számát egy 2013-ban kialakított helyi javítóbázis segítségével csökkentik. 2014-ben tervezik egy égetőmű felépítését, ahol az elégethető hulladékokat semmisítenék meg (pl. használt védőruházat). 2015-ben felépítenének egy 23 000 db hordó tárolására alkalmas biztonságos raktárt.

A másodlagos (üzemanyag-törmelékek és szennyezett víz kezelése során keletkezett) hulladékok tulajdonságait is meg kell ismerni a hosszú távú tárolásukhoz. 2016-ig beazonosítanak, milyen nuklidokat tartalmaznak egyes hulladékfajták, illetve mennyire szennyezettek. Ezeknek az információknak az ismeretében választják ki a feldolgozás/ártalmatlanítás alapkonceptióját 2017-ben (HP SW-1 döntési pont).

Tervek a reaktorok leszerelésére

A négy sérült blokk leszereléséhez több lehetséges scenáriót is megvizsgálnak, de a végleges döntés csak az üzemanyag és a sérült üzemanyagok eltávolítása és az épületek alatt összegyűlt víz kezelése után születhet meg. A leszerelésnél figyelembe kell venni a keletkezett hulladék típusát és mennyiségét, hatását a környezetre, a munkásokat ért sugárdózist, az alkalmazni kívánt eljárásokat és a hulladékkezelés módját. 2014-ben el kell kezdeni a leszerelési terv kidolgozását, figyelembe véve a Japánon belüli és külföldi eddigi tapasztalatokat. 2015-ig el kell készülni több leszerelési tervnek, amit nemzetközi szervezetek felülvizsgálnak (HP ND-1). A leszerelés teljes tervezett időtartama 30-40 év. A HP ND-2 döntési pontban választanak ki a leszerelési tervet, a HP ND-3 jelű döntési pontban

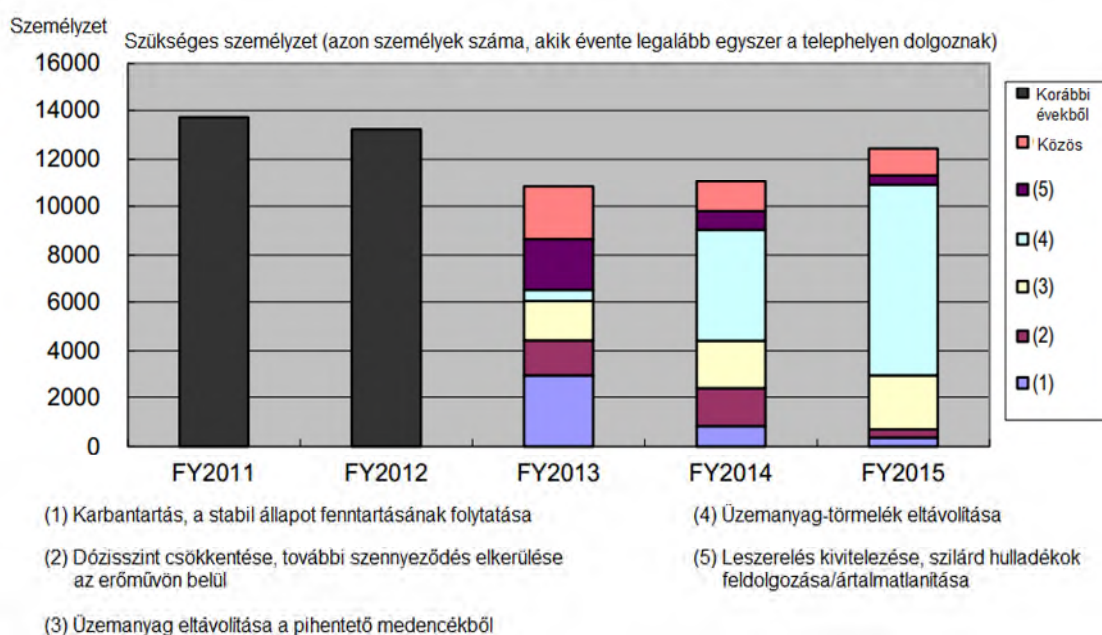
felülvizsgálják a hulladék-ártalmatlanítási lehetőségeket és kiválasztanak a megfelelőt, ami után megkezdődhet a leszerelés.

A munka kivitelezésének rendszere és a megfelelő munkakörnyezet biztosítása

A leszerelési terv kivitelezésének első fázisában több munkát is magas sugárterhelésű környezetben kell elvégezni. Ezért szükséges hosszú távon is a megfelelő mennyiségű munkaerő biztosítása, hogy a törvényileg megállapított dózislimit (100 mSv/5 év, 50 mSv/év) betartható legyen.

A TEPCO létrehozott egy a közép- és hosszútávú tervek folyamatos előremozdításáért felelős, illetve egy egészségügyi tanácsadással és orvosi ellenőrzéssel megbízott alszervezetet (Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Response Project Team, illetve Nuclear Power Health & Safety Center). A telephelyen történő kockázatcsökkentő eljárások kifejlesztését és kivitelezését, valamint a berendezések megbízhatóságának növelését 2013 áprilisa óta a cég elnöke által vezetett központ koordinálja (Immediate Response Headquarters for Reliability Improvement at Fukushima Daiichi NPS).

Az elhárítási tervben felállított tervek végrehajtásához szükséges munkaerő számának alakulását a 6-23. ábra mutatja.



6-23. ábra: A következő három évben szükséges munkások száma [6.13]

Rövid távon a TEPCO az együttműködő cégekkel karöltve, törekszik a személyzet többletdózisának minimalizálására. A munkahelyek kijelölésénél figyelembe veszik az alkalmazottat érő sugárdózist; fejlesztik a munkakörnyezetet, hogy csökkentsék a személyzet dózisterhelését (munkahelyek dekontaminációja, pihenőhelyek kijelölése és dekontaminációja); tanácsadói szolgálatot fenntartva igyekeznek fejleszteni a munkakörülményeket és oktatást biztosítanak a sugárvédelem témakörében.

Hosszabb távon szükség lesz új szakképzett munkaerő betanítására, mert a nagyobb tapasztalattal rendelkező személyzet eddigre elérheti a rájuk vonatkozó foglalkoztatási dóziskorlátot, így további munkálatokban nem vehetnek részt. A képzést szisztematikusan hajtják végre, ismertetve a jövőbeni terveket az együttműködő cégekkel. Ezen felül megvizsgálták a munkaerő közép- és hosszútávú biztosítását megvalósító stratégiát.

További biztonságnövelő intézkedéseket is tesznek az erőmű területén. Rendszeres munkavédelmi képzéseket tartanak a közreműködő cégekkel. A jelenlegi pihenőterületeket kibővítik, illetve újakat alakítottak ki a régi adminisztratív épületben és a főbejáratnál. A hóguta elkerülése érdekében lerövidítették a munkaidőt, és a napon dolgozó munkások számára hűtőmellényeket biztosítottak. Folyamatosan kiterjesztik azokat a területeket, ahol nem szükséges a teljes arcot takaró maszk viselése, ezzel is csökkentve a terhelést. A munkások sugárdózisát a megfelelő munkatervek kialakításával igyekeztek csökkenteni.

Amíg a regionális egészségügyi ellátó rendszert helyre nem állítják, a TEPCO és az együttműködő cégek biztosítják az egészségügyi ellátást (egészségügyi dolgozók, orvosok biztosítása, egészségügyi felszerelés, ellátmány, rohammentők biztosítása, páciensek elszállítása külső egészségügyi intézményekbe). Az egészségügyi minisztérium utasításai alapján a TEPCO a cégtől nyugdíjba vonult dolgozóknak egészségügyi tanácsadást és rendszeres szűrővizsgálatokat biztosít.

Kutatás-fejlesztési tevékenységek, emberi erőforrások biztosítása

A TEPCO és a japán kormány közösen tesz erőfeszítéseket a radioaktív anyagok analízisével és távirányítású eszközök kifejlesztésével kapcsolatos kutatás-fejlesztési tevékenységek biztosítására. A kutatási tevékenységeket össze kell hangolni a telephelyen szerzett tapasztalatokkal, mivel az új információk jelentősen megváltoztathatják egy-egy kutatási projekt irányvonalát. A kutatási munkákat összefogó szervezet felállítása egyre sürgősebb kérdés.

A helyreállítás egyes lépéseiben alkalmazott távirányítású eszközök (pl. robotok) teszteléséhez szükséges egy mock-up létesítmény felépítése, ennek 2014 végére készen kell állnia. A másik fontos terület egy radioaktív anyagok kutatásával és vizsgálatával foglalkozó intézet létesítése 2017-ig.

Mivel a teljes helyreállítás várható időtartama 30-40 év, a kutatás-fejlesztési tevékenységekhez szükséges humánerőforrás biztosítását az oktatási intézményekkel, kutatóközpontokkal és egyetemekkel együttműködve kell megoldani. A japán kormány a JAEA-val és a magánszektor cégeivel együttműködve jelölne ki központi egyetemeket és kutatóintézeteket, amelyek nem csak a többi egyetemmel és kutatóintézettel együttműködve vezetnék a kutatási projekteket, de vállalnák hosszú távon az emberi erőforrások biztosítását.

A kutatási és fejlesztési projekteket alapvetően három csoportba sorolhatjuk:

- Pihentető medencékben lévő üzemanyag eltávolításával kapcsolatos kutatás-fejlesztési tevékenységek
- Üzemanyag-törmelék eltávolításával kapcsolatos kutatás-fejlesztési tevékenységek
- Szilárd hulladékok feldolgozásával és ártalmatlanításával kapcsolatos kutatás-fejlesztési tevékenységek

Együttműködés a nemzetközi közösséggel

A sikeres leszereléshez szükséges a nemzetközi közösséggel a kétoldalú kommunikáció fenntartása. Más országok nukleáris balesetekből szerzett tapasztalatai felhasználhatók az

elhárításnál. Ugyanakkor Japán is köteles átlátható módon tájékoztatni a nemzetközi közösséget, felelősséget vállalva a balesetért.

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség 2013 áprilisában szakértőket küldött Japánba az elhárítási terv felülvizsgálatára az elvégzett munkák alapján [6.8]. A jelentésben foglalt tanácsok alapján az elhárítási tervet frissítették. Egy második szakértői küldetés keretében azóta az aktualizált elhárítási tervet is megvizsgálta a NAÜ, és 2014 januárjának végén újabb jelentést írt róla [6.7].

Az együttműködést erősítendő, Japán felállítana egy nemzetközi tanácsadó kerekasztalt, ami a kutatás-fejlesztési tevékenységeket menedzselő szervezettel foglalkozna, ezen a szervezeten belül pedig létrehozna egy nemzetközi együttműködési részleget, valamint egy nemzetközi leszerelési szakértői csoportot, ami különböző tudományos területek szakértőit tömörítené.

Nemzeti és régió belüli együttműködés

Mivel a Fukushima Daiichi erőmű leszerelésénél elsődleges szempont fenntartani a környező régiók lakosságának biztonságát, ezért a munkafolyamatokat a régiókkal való együttműködés jegyében kell megszervezni. Fejleszteni kell a helyi ipart, mivel ez fogja biztosítani a leszereléshez szükséges alapanyagokat és munkagépeket. A TEPCO kifejezetten törekszik a szükséges alapanyagok helyi beszerzésére. A leszerelést segítő távirányítású berendezéseket és rendszereket fejlesztő és radioaktív anyagokat kutató intézetek régióba telepítése munkahelyeket teremt.

Fukushima prefektúra és a 13 érintett település számára az információt rendszeres videokonferenciákon keresztül biztosítják, valamint személyes látogatások során ismertetik az érintettekkel a elhárítási terv előremenetelét. A kommunikáció javítása céljából létrehoznának egy bizottságot Fukushima prefektúra képviselőinek, helyi szervezeteknek és a helyi fejlesztési szakértőknek a részvételével. Fontos a társadalom tájékoztatása is a leszereléssel kapcsolatos kockázatokról, azoknak a felméréséről és minimalizálásáról.

A NAÜ szakértői missziójának megállapításai [6.16]

A NAÜ által 2013 áprilisában delegált szakértői csoport az elhárítási terv akkori változatában 19 változtatásra érdemes pontot talált. Az ez alapján a jelentés alapján frissített elhárítási tervet a NAÜ újabb misszió keretében vizsgálta 2013 novemberének végén, december elején és újra tizenkilenc pontban javasolt változtatásokat a tervben és a végrehajtási procedúrában. A következőkben ezek a pontok kerülnek röviden ismertetésre, a jelentés megfelelő alfejezetei szerint csoportosítva.

Felülvizsgált és frissített elhárítási terv

A NAÜ szakértői csoport a következő ajánlásokat fogalmazta meg: javasolta Japán kormányának, hogy továbbra is vállalja a vezető szerepet a leszerelés biztonságos megvalósításában. A team elismeri a NRA szerepét a biztonság fenntartásában és javasolta, hogy a szabályzó hatóság továbbra is aktívan kövesse a megvalósítási terv kivitelezését.

PR és kommunikáció

Elismerve Japán kormányának a különböző helyi érdekeltekkel való kommunikációra tett erőfeszítéseit, a nemzetközi szakértők javasolták a Fukushima Tanácsadói Kerekasztal (Fukushima Advisory Board; FAB) mielőbbi létrehozását, aminek a feladata az érdekeltekkel való strukturáltabb kommunikáció biztosítása lenne.

A TEPCO-nak ajánlott lenne felülvizsgálnia kommunikációs stratégiáját, és kiterjeszteni a kapcsolattartást a telephelyi dolgozókra és alvállalkozókra. A dolgozókat is hasonló módszerekkel kellene tájékoztatni, mint a szélesebb nyilvánosságot. Mivel a dolgozók felelősek a telephelyen elvégzett munka biztonságos lebonyolításáért, ezért fontos lenne ismerniük az erőmű állapotát és a munkájuk hatását a helyreállítás folyamatára.

Üzemanyag és a sérült üzemanyag eltávolítása

A NAÜ szakértői javasolták a TEPCO-nak a közös pihentető medencében való üzemanyag elhelyezés alternatíváinak vizsgálatát, valamint a folyamatban lévő intézkedések felülvizsgálatát. Többek között a további területeket lenne érdemes megvizsgálni: nem besugárzott üzemanyag menedzselése; adatgyűjtés a hosszútávú integritás vizsgálatához; törmelékek eltávolításának a technológiája a pálcakötegek belsejéből; különböző kategóriájú üzemanyagok kezelése.

Szennyezett víz kezelése

A NAÜ szerint szükséges lenne a telephelyen összegyűlt szennyezett víz fenntartható kezelési technológiájának megtalálása. Érdemes lenne meggondolni a tengerbe való szabályozott leeresztés újrakezdését a megfelelő radiológiai elemzések elvégzése után.

A TEPCO szennyezettvíz-kezelési stratégiája nagyban függ az ALPS rendszer folyamatos jó hatásfokú üzemelésétől. A szakértői team ezért javasolta a tisztítórendszer teljesítményét és kapacitását fokozó technológiák fejlesztését, hogy a kitűzött célok elérhetők legyenek.

A NAÜ szakértői javasolták egy alapos és strukturált hatáselemzési rendszer felállítását. Ezzel értékelni lehetne az egyes telephelyi intézkedések hatását az elhárítási terv egészére és fordítva.

Radioaktív anyagok menedzsmentje

A NAÜ szerint a hulladékok radiológiai karakterisztikáinak megismerése és kategorizálása fontos lenne a hosszútávú menedzsment stratégia kialakításakor. Szükség lenne a telephelyen vagy annak közelében egy radiológiai karakterizálást elvégző üzem létesítésére. A hulladékok tulajdonságainak ismeretében a TEPCO továbbfejleszthetné a hulladékfeldolgozására, tárolására és végső megsemmisítésére kidolgozott stratégiát.

A leszerelés folyamán egyre nagyobb mennyiségű veszélyes hulladék keletkezik. Biztosítani kell a megfelelő mennyiségű tárolókapacitás biztosítását a teljes leszerelési időszak alatt és a tervezéskor figyelembe kell venni a leszerelés hosszú időtartamát. Mivel a telephely kapacitása véges, ezért törekedni kell a hulladékok mennyiségének minimalizálására.

A reaktor- és turbinaépületekbe jutó talajvíz mennyiségének csökkentésére tett intézkedések

A szakértői team javasolta, hogy a TEPCO szigorítsa a talajvíz szivárgására és a radioaktív kibocsátások csökkentésére tett intézkedéseit. A kiválasztott technológiák együttes használatának stratégiáját a telephely limitált területe és a komplex radiológiai környezet miatt érdemes felülvizsgálni, amint több adat áll rendelkezésre.

Javasolt lenne a részletes tervezési szakasz során a talajvíz mennyiségének csökkentésére választott módszer robosztusságának megvizsgálása több "mi lenne, ha" szcenárió felállításával és ezek hatásának vizsgálatával. (Pl.: egy vagy több befolyó csatornából eltávolított víz magasabb dózisteljesítménye, hidraulikai kapcsolat fennmaradása a különböző magasságon elhelyezkedő épületek között, stb.)

A környező területek radiológiai kitettségének vizsgálata

Megerősítve a 2013. áprilisi misszió megállapításait, a NAÜ javasolta a TEPCO-nak és Japán kormányának, hogy kezdeményezzen konstruktív vitát a hatóságokkal és érintettekkel, különös tekintettel az NRA-ra és a helyi hatóságokra. A vita célja a telephely határain érvényes dózisteljesítmény megállapítása lenne. Meg kell vitatni a telephelyen belül és kívül a kitettség kockázatát, valamint a telephelyen belüli és kívüli helyreállítási munkálatok egymásra hatását.

Tekintve, hogy a jövőben szükség lehet a tengerbe való szabályozott vízleeresztésre, a TEPCO-nak javasolták, hogy mérje fel az eljárás biztonsági és környezeti hatásait, figyelembe véve az NRA által megszabott határértékeket. Vitassák meg a felmerülő kérdéseket az érintettekkel és tájékoztassák a lakosságot a tríciummal szennyezett víz kieresztésének hatásairól.

Felkészülés az engedélyeztetésre és szabályozási követelmények

A team javasolta, hogy ne csak technológiai döntések meghozatalához definiáljanak döntési pontokat, hanem a fontos engedélyek beszerzését is indikálják hasonló módon, hogy könnyebben követhető legyen a fontos hatósági döntések helye és az egyes engedélyek beszerzésének időtartama. Továbbra is javasolták az NRA jóval mélyebb bevonását a tervezési és végrehajtási folyamatba.

Rendszerek és rendszerelemek (SSC) stabilitásának és megbízhatóságának fenntartását, fejlesztését a leszerelés végéig biztosító programok és folyamatok

Javasolt lenne felülvizsgálni a közvetlenül a baleset után üzembe helyezett SSC-k élettartamát, technikai specifikációit, az új SSC-k tervezésénél pedig konzervatívabb élettartam-beccsléssel számolni.

A NAÜ szakértői javasolták, hogy a TEPCO tegyen lépéseket a tárolók területére esett esővíz szabályozására és mintavételezésére, hogy minimalizálható legyen a szennyeződés terjedése esővíz és talajvíz által.

Tengeri monitoring és a potenciális radiológiai hatás felmérése

Mivel kb. tíz japán intézet végzi a tenger megfigyelését, javasolt a laboratóriumok között a minták megosztása, hogy az eredmények összehasonlíthatóak legyenek. A NAÜ felajánlja saját laboratóriumainak segítségét a vizsgálatok megszervezéséhez. Nemzetközi partnerek bevonása tovább növelné a méréssel nyert adatok megbízhatóságát. Ezek a lépések növelhetik a folyamat megfigyelési átláthatóságát is.

A nyilvánosság számára érthetően, de tudományos szempontból pontosan prezentálni a mérési adatokat nem egyszerű feladat. Pusztán bemutatni a radionuklidok koncentrációját mindenféle magyarázat nélkül nem elégséges. Célszerűbb lenne az adatokat a természetes radionuklidok dózisaival összehasonlítva prezentálni, vagy bemutatni a koncentrációk időbeli alakulását a baleset óta, ezzel demonstrálható lenne a helyzet javulása.

A szakértői team javasolta az erőmű közelében víz alatti in-situ mérőberendezések elhelyezését a gamma-kibocsátó radionuklidok folyamatos monitorozására. Ezeknek a mérőeszközöknek az adatait elérhetővé tehetnék a nyilvánosság számára, valamint lehetővé válna a Cs-137 izotóp kibocsátás azonnali észlelése.

6.3 Hulladékok, üzemanyag kezelése

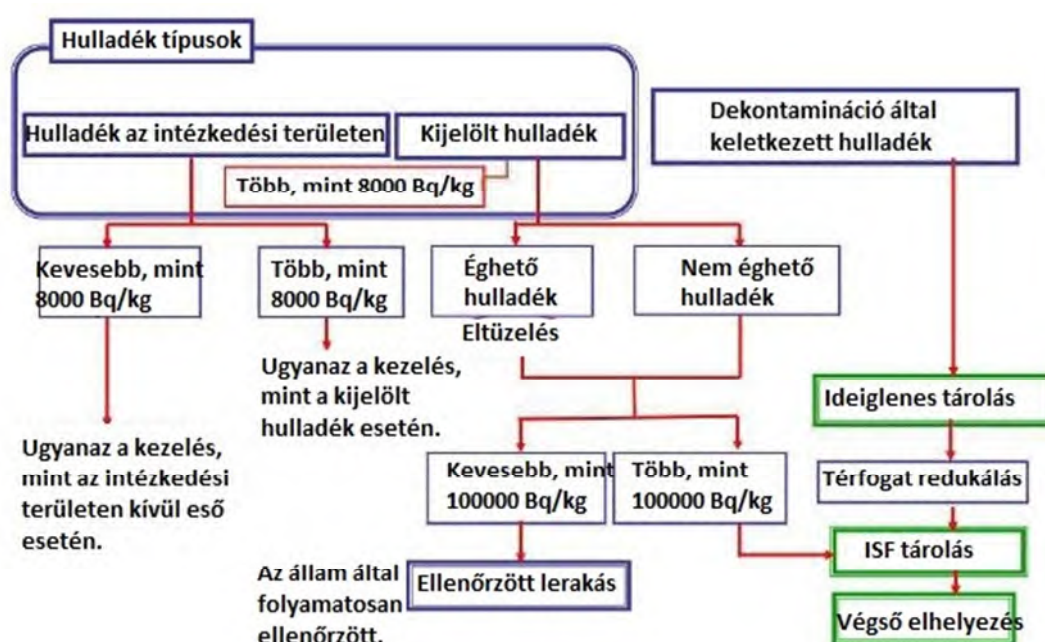
A hulladékok kezelése

A környezet megtisztítása során képződött hulladékok mennyiségének csökkentésére különböző intézkedéseket határoztak el, ilyenek pl. a fertőtlenítéshez használt víz kezelése, hulladékok bezúzása valamint a föld szétválogatása a szennyezettségi szint szerint.

Hulladék-feldolgozási terv [6.9] [6.10] [6.11]

Párhuzamosan a dekontaminációs intézkedésekkel, a Környezetvédelmi Minisztérium (MOE) terveket dolgozott ki a megtisztítás során felgyülemelő hulladékokra vonatkozóan.

A tervezett tárolási módszerrel elérhető kapacitás az idő előrehaladtával növelhető kell legyen. Minden keletkező hulladékot egy ideiglenes, de folyamatosan megfigyelt tárolóban kell elhelyezni, maximum 3 éves időtartamra. Hosszabb távú tárolás esetén (3-30 év) a kormány ideiglenes tároló központokat létesít. Végül az ennél is hosszabb ideig tárolandó hulladék esetén a kormány földalatti tárolókat létesít. Minden esetre időszakos vagy folyamatos ellenőrzés van előírva, biztosítván, hogy nem jut ki szennyeződés a környezetbe. Bizonyos részét a hulladéknak elégetik (pl.: agrárhulladék), majd szennyezett hamuként kerül tárolásra.



6-24. ábra: A hulladékkezelés folyamatábrája [6.11]

Csak Fukushima tartományban becslések szerint 28 millió m³ hulladék gyűlt össze a dekontaminációs folyamatok során. Ebből 800 ezer m³ a Fukushima Daiichi 1-4 blokkjaiból származik. Ennek kezelése hatalmas erőfeszítéseket kíván. A MOE felállított egy kritérium keretrendszert a szennyezett anyagok kategorizálására annak alapján, hogy honnan származik, illetve mekkora az aktivitása. Ezzel együtt az egyes ügynökségek felelősségét is kiosztották,

akik szerepet vállalnak a különböző kategóriájú szennyezők menedzsmentjében, azok teljes életciklusán keresztül.

A 2011. évi vizsgálatok megállapították, hogy a szennyezett anyagok jelentős része csak nagyon kis mértékben sugárszennyezett, ezért az a javaslat született, hogy ezen típusú anyagokat ne kezeljék radioaktív hulladékként (természetesen csak a megfelelő kritériumok teljesítése után). Így a MOE úgy határozott, hogy azon szennyezőket, melyeket nem lehet elégetni (mint például a beton törmelékek), újra felhasználják például az utak építéséhez. Ennek eredményeképp a 3000 Bq/kg aktivitást meg nem haladó beton hulladékok építhetők be utak szerkezeteként, de minimum 30 cm mélyen kell legyen ez a réteg.

2013 októberére 460 helyen készült el ideiglenes rövidtávú tároló. A hulladékot különböző típusú nagy méretű rugalmas zsákokban tárolják, amelyeket paramétereik alapján színekkel jelölnek (pl.: vízállóság, kapacitás, tartósság). A fekete színű zsákok 2-3 éves időtartamig megbízhatóak, a kék pedig akár 5 évig is bírják. Fontos megjegyezni, hogy a zsákok az egyes tárolók között sem egységesek, és nincs rá garancia, hogy a hosszú távú tárolók elkészültéig mindegyik zsák ellátja funkcióját. A hosszú távú tárolók védettek, azaz a sugárzás miatt árnyékoltak, esővíz nem tud bejutni, illetve a szennyezett víz sem tud kifolyni, továbbá minden olyan követelménynek megfelelnek, melyeket a MOE határozott meg. Minden egyes hulladéktároló bálán fel van tüntetve a hulladék minden fontos tulajdonsága (honnan származik, dózis, tárolási idő...). A természetes hulladékokat (faanyagok és levelek) bedarálják annak érdekében, hogy kisebb térfogatot foglaljon.



6-25. ábra: Az ideiglenes tárolók felépítése [6.5]

A 6-25. ábra mutatja az ideiglenes tárolók felépítését. A 6-26. ábra mutatott zsákokat helyezik el egy vízálló fólia alatt, a fóliát magát beton lapokkal szorítják le a szélein a földre. A 6-27. ábra egy ilyen tárolóról készült fényképet szemléltet.



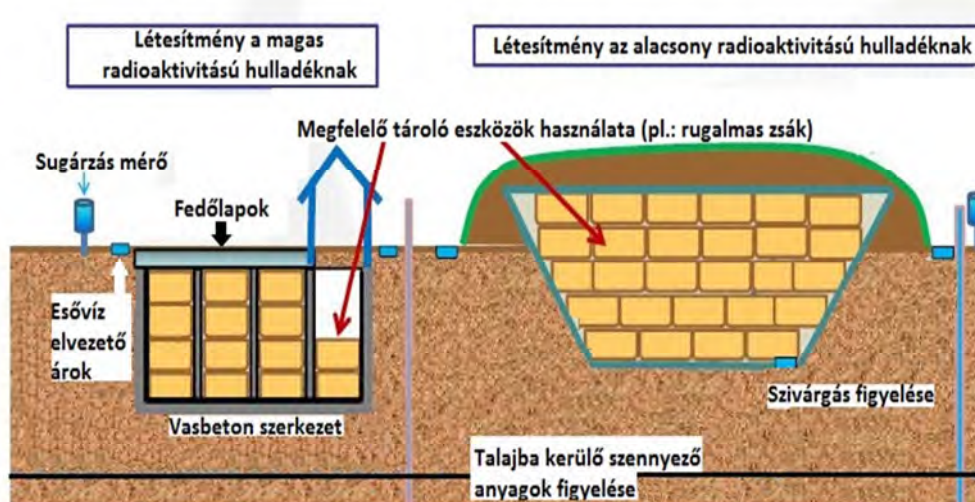
6-26. ábra: Hulladéktároló zsákok [6.5]

A meglévő 460 tároló nem lesz elegendő a munkálatok folytatásához, ennél jóval többre van szükség. A hosszú távú tároló létesítmények a tervek szerint a tároló funkción kívül képesek lesznek szegregációra, tömörítésre és megfigyelésre is.



6-27. ábra: Egy ideiglenes tárolóról készült fénykép [6.5]

A MOE 3 potenciális várost jelölt ki a hosszú távú tárolók helyéül. Ezekben a városokban kutatást végeznek a létesítési lehetőségekről (pl.: helyi adottságok). A tervek szerint 2015. januárban léphet működésbe az Okuma városi létesítmény. A hosszú távú tárolók telepítése kritikus lépés, mivel ezek által lényegesen biztonságosabb és megbízhatóbb lesz a hulladékok kezelése és tárolása. Ezek a fajta tárolók alkalmasak lesznek 30 éves időtartamon belüli hulladék kezelésre, részük lesz egy szétválogató üzem, helyben lehet a hulladék térfogatát is redukálni, továbbá 24 órás megfigyelést fognak alkalmazni a létesítmény számos pontján. Hangsúlyt fektetnek a közvélemény bizalmának megerősítésére, egy kommunikációs létesítményt is elhelyeznek a telepen.



6-28. ábra: A földalatti tárolók sematikus ábrája [6.9]

A 30 éven túli tároláshoz földalatti létesítményeket alakítanak ki (6-28. ábra), de ezen belül is két különböző kategória foglal helyet, az első a gyengén szennyezett és nem kioldódás érzékeny hulladék, a második pedig a magas radioaktivitású és könnyen kioldódó hulladék.

Az erősen szennyezett részt alulról egy megerősített vasbeton szerkezet fogja tartani, mely felülről lezárható, miután feltöltöttek hulladékkal. A kis aktivitású hulladékot szivárgásmentes konténerekben, zsákokban helyezik el. A földben folyamatosan üzemelő sugárzás mérőket helyeznek el.

Megoldásra váró problémák

A szennyezett anyagok elégetése

A hulladékok térfogatának csökkentése érdekében úgy döntöttek, hogy hulladékégetőkben elégetik az erre alkalmas szennyezőket. Jó példa erre a Ken-Chu-i szennyvíz kezelő központ, ahová újonnan telepítettek egy fluidizációs tüzelő berendezést (2013. októberéig próba üzemben volt). Az egyhónapnyi próbaüzem eredménye, hogy körülbelül a huszad részére képes csökkenteni a hulladék térfogatát, és a zsákos felépítésű szűrők hatékonyan fogják fel a szálló hamut, és megfelelő hatékonysággal csökkentik a levegőbe kerülő radioaktív cézium mennyiségét.

Dekontamináció utáni munkálatok [6.10]

A jövőben folyamatosan fogják mérni a levegőben lévő szennyeződések, a források és a potenciális gócpontok azonosítása érdekében. A folyókat és a tavakat szintén folyamatos mérésekkel figyelik. A lakott területek, illetve a mellettük lévő erdőségek határán a szerves hulladékokat 20 méteres sávban fogják eltávolítani, vagy ha mérések által indokolt, akkor még szélesebb területen.

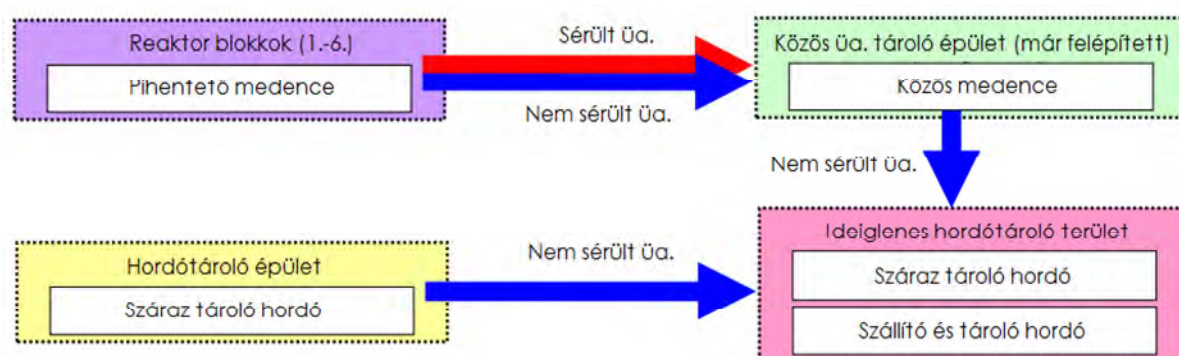
Üzemanyag kezelése [6.12]

A helyreállítási munkák során kétféle üzemanyagot kell kezelni: a reaktorokhoz tartozó pihentető medencékben épségben maradt vagy kisebb sérüléseket szenvedett üzemanyagot, és a reaktortartályokban található üzemanyag-törmelékét. Előbbi tárolására már készültek tervek, míg az utóbbival kapcsolatos problémák még megoldásra várnak.

A roadmap szerint a kiemelés után a pihentető medencékben lévő üzemanyag az erőműben kialakított közös medencében lesz tárolható. Az egyes üzemanyagok tervezett elhelyezése látható a 6-29. ábra. A közös medencében már a baleset előtt is tároltak üzemanyagot, ezt ideiglenes hordótároló területekre (6-30. ábra) szállítják át.

A pihentető medencékben lévő üzemanyag átrakásakor a közös medencébe a már eddig is a telephelyen található tokokat tervezik használni. Azonban a magas szennyezettségű területeken (3-as blokk) távirányítású eszközökkel feltölthető tokokat kell tervezni.

Az üzemanyag kezeléséhez kapcsolódóan meg kell vizsgálni a medencéből eltávolított üzemanyag hosszú távú integritásának fenntartását, mivel ezek a hűtés során tengervízzel érintkeztek. A magas kloridion tartalmú és pH-jú közegnek való kitettség miatt a hosszú távú tárolás során felgyorsulhat a pálcák anyagának öregedése. A rájuk szakadó betontörmelék miatt egyes pálcák megsérülhetnek és szivároghatnak. Meg kell vizsgálni, hogy a sérült pálcák reprocessálhatók-e és amennyiben igen, ki kell dolgozni a reprocessálás technológiáját.

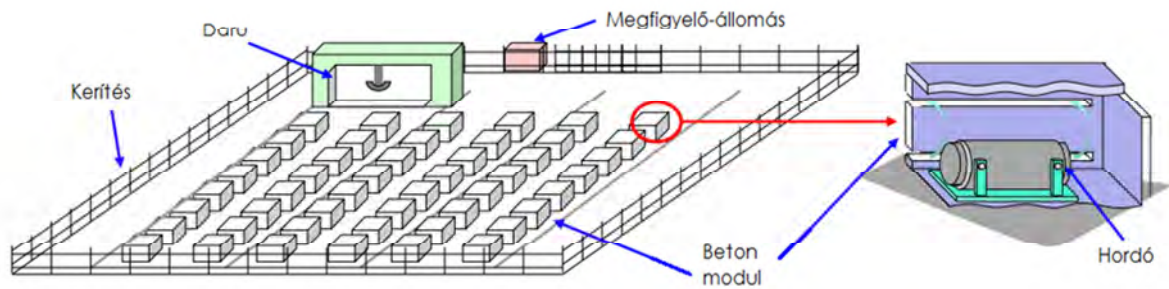


6-29. ábra: A Fukushima Daiichi telephelyen található üzemanyag mozgatása [6.12]

Vizsgálni kell az üzemanyag-kazetták vízminőségre gyakorolt hatását is vizsgálni kell, azaz rendszeres vízminőség-vizsgálatok alapján az üzemanyagból történő kioldódást, valamint a sérült üzemanyagból kioldódó korrozív anyagokat.

Az esetleges reprocessáláshoz a következő projektfeladatok elvégzése szükséges:

1. A múltbéli japán és nemzetközi tapasztalatok összegzése a sérült üzemanyagok kezelésével kapcsolatban.
2. A sérült üzemanyagok kémiai eljárásra gyakorolt hatásának vizsgálata: a.) a szennyezett anyagok reprocessáló berendezésekre gyakorolt korróziós hatásának vizsgálata; b.) a szennyeződések viselkedése a reprocessálás folyamata során; c.) a szennyeződések hatása a reprocessálás során keletkező hulladékokra.
3. Sérült üzemanyagok kezelésének felülvizsgálata: a.) kezelési eljárások felülvizsgálata a tárolóhelyeken; b.) az üzemanyagok szétvághatóságának vizsgálata.
4. A fenti pontok ismeretében a reprocessálhatóság megállapítása.



6-30. ábra: Ideiglenes hordótároló terület [6.12]

Mint azt az előző fejezetben említettük, az üzemanyag-törmelék eltávolítási technológiáját és az eltávolítást segítő eszközöket (reaktorok felbontását, reaktortartályban lévő törmelék kiemelését végző berendezések) még ki kell fejleszteni. Az üzemanyag-törmelék tulajdonságait a Three Mile Island erőmű balesete során keletkezett törmelék vizsgálatán keresztül próbálják megérteni. Azonban a japán baleset során valószínűleg erősebben sugárzó törmelék keletkezett. Ezt figyelembe kell venni a csomagolási, szállítási és tárolási technológiák kidolgozásánál.

Az üzemanyag-törmelék eltávolításának legnagyobb problémája, hogy nem ismertek a reaktorokon belüli állapotok, ezért a részletes tervek kidolgozása a kiemelt sérült üzemanyaggal kapcsolatban még várat magára.

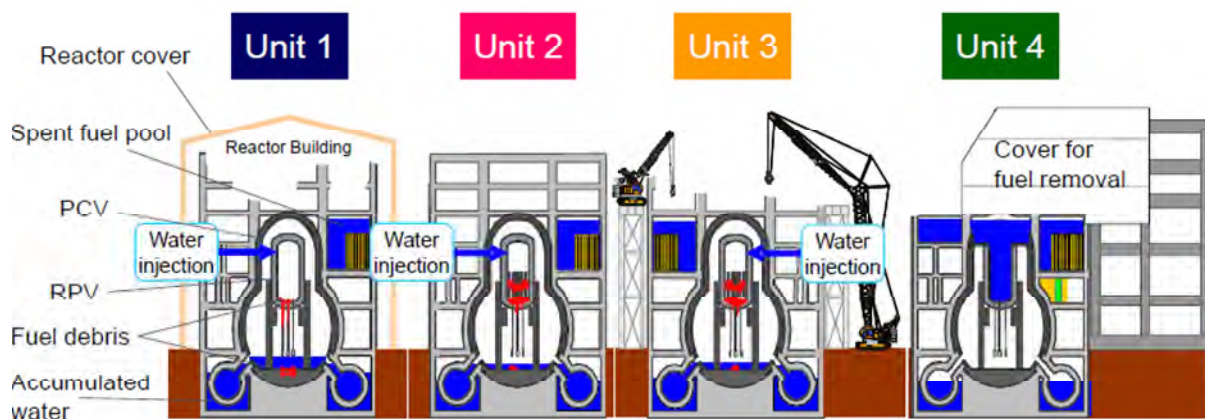
6.4 Jelenlegi problémák, státusz, üzemanyag-kirakás helyzete

PR és kommunikációs tevékenység

A [6.19] NAÜ felülvizsgálat a következő megállapításokat tette az elhárítással kapcsolatos munkálatokat illetően: ahhoz, hogy a lakosság megértse a TEPCO terveit és erőfeszítéseit a Fukushima Daiichi atomerőmű leszerelését illetően, a japán kormánynak és a TEPCO-nak nyíltan és átláthatóan kell végeznie a kommunikációt. A tájékoztatások akkor hatékonyak igazán, ha kétoldalúvá válhat a kommunikáció. Az érintettek megnyerése bizalmat és hitelességet építhet, miközben a közösség aggodalmát csökkenti. Miután a TEPCO felismerte, hogy a vállalat és a lakosság között szakadék alakult ki a telephelyi balesetek, potenciális veszélyek és lehetséges ellenintézkedésekről szóló tájékoztatás során, a TEPCO létrehozott egy új pozíciót, a kockázat kommunikátor (Risk Communicator) személyében, valamint megalakította a Közösségi Kommunikációs Irodát (Social Communication Office), hogy megfelelő kapcsolatot tudjon fenntartani a lakossággal. Innentől kezdve nagyobb hangsúlyt fektettek a gyors és őszinte tájékoztatásra, amelyek során az esetleges kockázatokra és negatív eshetőségekre is felhívják a figyelmet. A japán kormány által elindított, a környezet gazdasági tevékenységeinek újraélesztését célzó intézkedések hozzájárulnak a telephelyi állapotok jobb megértéséhez és a lakossági elfogadottságot is növelik.

Kiégett üzemanyagok és üzemanyag-törmelékek kezelése

Az 1-4. blokkban lévő üzemanyag és az 1-3. blokk reaktoraiban lévő sérült üzemanyag jelenti a legnagyobb veszélyt az atomerőmű telephelyén. Fontos felismerni, hogy ennek eltávolítása igen komplex feladat, amit csak fokozatosan lehet végrehajtani, és több évig fog tartani. A következőkben az egyes blokkok pihentető medencéiből történő üzemanyag-kirakás helyzetét mutatjuk be.



6-31. ábra: A blokkok jelenlegi státusza (2014. április) [6.27]

4. blokk

2013. november 18-án kezdődött a 4. blokki pihentető medencében található 1533 darab üzemanyag-kazetta kiemelése és áthelyezése a telephelyen lévő befogadó létesítménybe. A munka előreláthatóan 2014 végéig fog tartani.

A 2011 márciusában bekövetkezett földrengéskor a 4. blokk nem üzemelt tervezett karbantartás miatt. A zónából az összes üzemanyagot áthelyezték a pihentető medencébe, ahol így 1331 db kiégett és részlegesen kiégett és 202 db friss fűtőelemköteg volt. A környezeti katasztrófát követően a pihentető medence hűtése átmenetileg megszűnt, de a gyors intézkedéseknek köszönhetően a rendszer hűtését sikerült stabilizálni. 2012 decemberében a pihentető medencében lévő üzemanyagot hivatalosan is sérülésmentesnek nyilvánították, üzemanyag-sérülés nem történt, azaz kezelésük a normál fűtőelemekével hasonlóan történhet.

A balesetet követően helyszíni vizsgálatokkal és számítógépes elemzéssel megállapították, hogy a pihentető medence és a sérült épület egésze képes még így is ellenállni egy, a 2011. márciusi földrengéssel megegyező erősségű rengésnek. A vizsgálatok azt is kimutatták a medence vízszintjének és a medence felső szintjének összehasonlításával, hogy az építmény nem dőlt meg. A betonfalakon lévő repedések és a beton szilárdságának ellenőrzése megerősítette, hogy nem állt fenn olyan szerkezeti veszély, amely az épület összeomlásához vezetne. A reaktorépület és a pihentető medence állapotát és integritását négy alkalommal vizsgálják évente, és amennyiben szükséges, karbantartási, munkálatokat végeznek.

A TEPCO döntése alapján a sérült blokkokban lévő kiégett üzemanyagot egy közös, biztonságosabb létesítménybe szállítják a telephelyen belül, ahol előreláthatóan 10-20 évig tárolják majd őket. Az épület megerősített kialakítású, cunamival és földrengéssel szemben ellenálló.



6-32. ábra: A létesítmény, ahova az üzemanyagot átszállítják [6.20]

A tárolómedencét a nukleáris biztonsági alapkövetelményeknek megfelelően diverz villamosenergia-ellátással alakították ki, hogy egy esetleges cunami, vagy egyéb, feszültségvesztést kiváltó esemény során a hűtési funkciót azonnal vissza lehessen állítani. A hűtővíz utánpótlásához ilyen esetben tűzoltóautók állnak rendelkezésre megfelelő vízkészlettel, a villamos betáplálás pedig kamionokra szerelt mozgó generátorokról is megvalósítható. Az esetlegesen betörő víz ellen megfelelő szigetelésekkel védekeznek.

A 4. blokk pihentető medencéjének kirakása 2013. november 18-án kezdődött. 2014. július 10-ig az 1533 kazettából 1188 darabot szállítottak át a tároló létesítménybe [6.21]. Az épület sérülését követően a pihentető medencébe került törmelék eltávolításához több mint húszféle, speciálisan erre a célra kialakított eszközt használnak. Az üzemanyag-kazetták

korróziós vizsgálatára a tengervíz-befecskendezés miatt volt szükség. A medencéből kivett, még nem besugárzott üzemanyagon az alsó tartólemezen lévő jelentéktelen elváltozáson kívül nem találtak oxidációra utaló nyomokat, az anyag szerkezeti tulajdonságai nem korlátozzák a mozgathatóságot.

A sérült 4. blokk reaktorépülete köré egy védőépületet terveztek és építettek, amelynek feladata az üzemanyag kirakás biztosítása. Az építkezés 2012. április 17-én kezdődött, az épület 2013. november 12-re készült el.



6-33. ábra: A 4. blokk köré épített védőépület [6.20]

A tervezésnél fontos szempont volt, hogy a védőépület súlya ne a sérült blokkot terhelje, ezért egyedi kialakításra volt szükség. Az L-alakú építmény lehetővé teszi, hogy a benne elhelyezett daru és az üzemanyagot rakodó berendezés terhét az új védőépület viselje. A radioaktív anyagok szétszóródása és diffúziója ellen a védőépület köré emelt burkolattal védekeztek. A szellőztető berendezések mindegyikén szűrő található, amelyek minimalizálják a kibocsátást.

Az üzemanyag eltávolítása során első lépésként a kazettákat kiemelik a pihentető medencéből. Ezt a pihentető medence fölé elhelyezett kezelő berendezés segítségével hajtják végre.

A kiemeléshez használt fogó redundáns biztonsági rendszerekkel rendelkezik. A beépített súlyérzékelő a kiemelési folyamatot automatikusan leállítja, ha az üzemanyag tömege a rárakódott törmelék miatt meghalad egy értéket és visszahelyezi azt eredeti pozíciójába vagy rögzített állapotban tartja. Feszültségkiesés esetén sem nyit a megfogó kapocs, az üzemanyag visszaesése ilyen esetben nem lehetséges. Az eszközök egy, a 2011 márciusában bekövetkezett földrengésre is méretezve vannak. Az elvégzett reaktorfizikai számítások szerint a pihentető medencében nem alakulhat ki kritikusság, még akkor sem, ha egy üzemanyag-kazettát visszajuttatnak.

Az üzemanyag leejtését megakadályozó műszaki megoldások a következők:

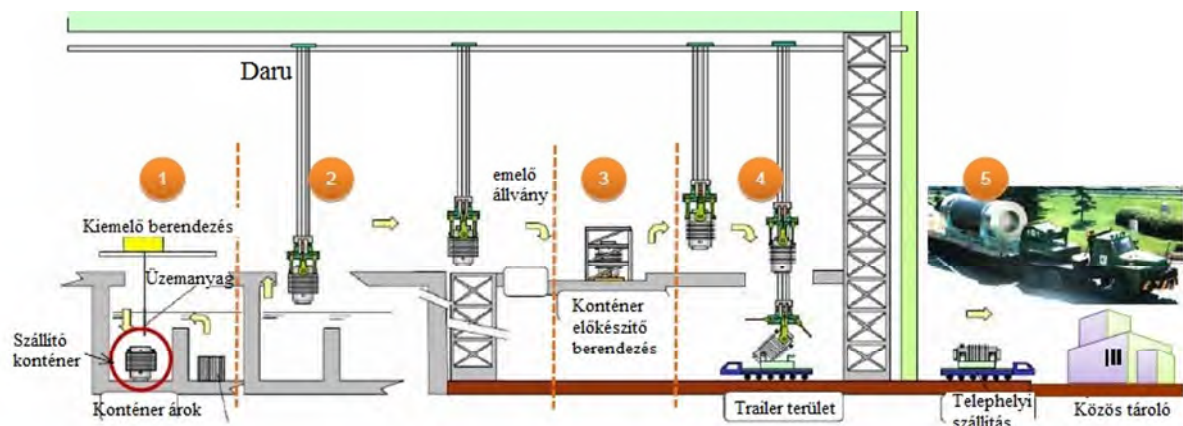
- az emelőberendezés feszültségkiesés esetén is ellenőrzés alatt tartható az elektromágneses féknek köszönhetően;
- az üzemanyagot tartó markolat még a szükséges levegő elvesztése esetén sem nyitja a kapcsot;
- a markolat mechanikus zárszerkezettel rendelkezik;
- a markolat dupla kialakítású drótkötéllal rendelkezik;
- az üzemanyag mozgatása folyamatosan monitorozható a víz alatti kameráknak köszönhetően.

A kiemelt kazettákat víz alatt egy speciálisan kialakított konténerbe helyezik a már bemutatott berendezés segítségével. A víz alatti munkavégzés egyrészt sugárvédelmi szempontból fontos, másrészt biztosítja az üzemanyag hűtését. A TEPCO a művelethez két konténert fog használni, amelyek közül egyet 2013. november 13-án sikeresen elhelyeztek a pihentető medencében [6.20].

A konténer leejtését megakadályozó műszaki megoldások a következők:

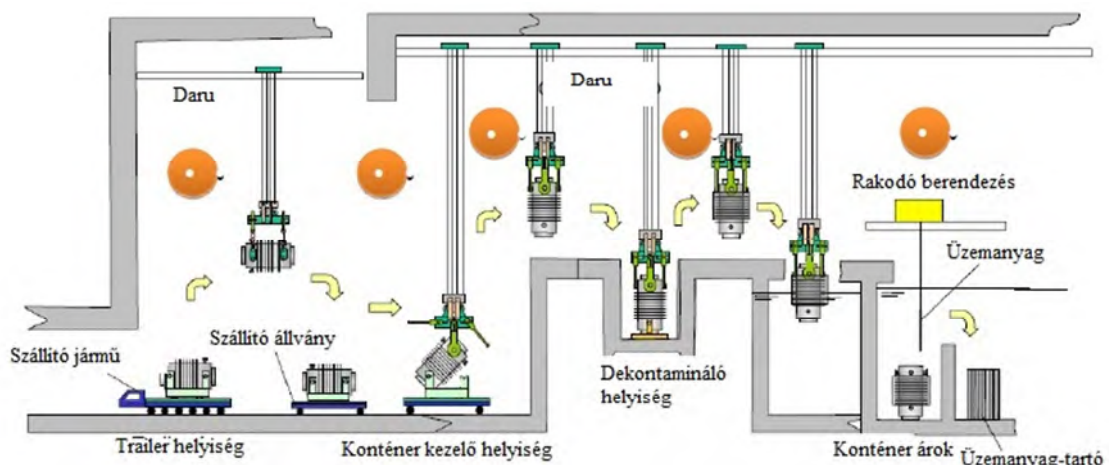
- megduplázott drótkötél, fékrendszer, emelőrendszer a darun;
- a kapocs kialakítása megakadályozza annak szándékolatlan nyitását;
- a daru használata előtt minden esetben a működőképesség ellenőrzése;
- a daru indítása előtt visszajelzés a megfelelő rögzítésről.

Ezt követően egy, a védőépületbe szerelt daru segítségével a konténert egy előkészítő helyre szállítják az épületen belül, ahol külső felületét dekontaminálják. A daru kialakítása hasonló az üzemanyagot kezelő berendezésével. Az átemelés során ügyelnek arra, hogy a konténer ne haladjon át a tárolt üzemanyag fölött. A szennyeződések eltávolítása után a daru a konténert egy járműre helyezi, amely elszállítja azt a telephelyi központi tárolóba.



6-34. ábra: Az üzemanyag-kirakás lépéseinek összefoglalása [6.20]

Miután megtörtént az átszállítás a tároló létesítménybe, a leemelést követően ismét dekontaminálják a konténert, majd a medencébe helyezik, ahol az üzemanyag víz alatt elhelyezhető az új tárolókban.



6-35. ábra: Az üzemanyag-kazetták elhelyezése a közös tárolóban [6.20]

A helyszínen látogatást tett NAÜ-szakértői csoport a következő észrevételeket fogalmazta meg [6.19] :

- A friss üzemanyagot a jelenlegi stratégia szerint a közös tárolóba szállítják át. Ezek alkalmasak lehetnek későbbi üzemelésre, ráadásul a felületi szennyeződésektől eltekintve nem jelentenek jelentős radiológiai kockázatot. A jelenlegi stratégia szerint az értékes tárolóhelyekre foglalnak el, ahol ráadásul moderátor is jelen van, ami kritikussági veszélyt okozhat (az elemzések szerint igen kis kockázattal). Mindkét probléma megoldódna, ha a TEPCO kidolgozna egy alternatív kezelési módszert ezekre az üzemanyag kazettákra.
- Az egyes üzemanyag kazettákban törmelék maradhat. Ez a későbbiekben az üzemanyag szárítása során okozhat problémákat. Szükséges olyan technológia kifejlesztése, amellyel a törmelék kiszedhető a kazettákból.
- A közös pihentető medencében ötféle üzemanyag kerül elhelyezésre: teljesen kiégett, részlegesen kiégett, nem besugárzott, mechanikailag sérült, és inheretikus kazetták. Mindegyik típusra külön meg kell határozni a hosszútávú kezelési stratégiát [6.19].

1-3. blokk

A NAÜ csoport véleménye szerint az 1-3. blokkok kiégett üzemanyagainak eltávolítása komplikáltabb, mint a 4. blokk esetén, azonban az ott szerzett tapasztalatok felhasználhatóak lesznek. Eltérések mutatkoznak az aktivitási szintekben az egyes medencékben, a medencék tetején lévő üzemi szint (ötödik szint) szennyezettségében, az egyes tároló rekeszek és üzemanyagok állapotában. Ezeket figyelembe véve összetett terveket készítettek az egyes blokkokra. Az egyes pihentető medencékből az üzemanyag kirakását sorozatos módon, a mért sugárzási szintek alapján kell majd végezni. A 3. blokk esetén a hozzáférést és az üzemanyag eltávolításához szükséges földem építését elősegítve a létesítmény tetejéről eltávolították a törmeléket, ezzel a pihentető medence szintje megközelíthetővé vált. Az üzemanyag-átrakó gép megjavítása még megoldandó feladat. A medence szintjének dekontaminálását hamarosan elkezdi a kifejlesztett roboteszközök segítségével.

Az üzemanyag törmelék eltávolítása a reaktorokból

Az üzemanyag törmelék jelenti a megolvadt üzemanyagot és azt az olvadt üzemanyagot, ami a körülötte lévő anyagokkal és a reaktor zónáját felépítő komponensekkel összekeveredett. Fontos feladat a konténmentbe és a csatlakozó rendszerekbe kikerült üzemanyag eltávolítása. A törmelék eltakarítása speciális módszereket és eszközöket igényel a törmelék tulajdonságától, elhelyezkedésétől, és a megközelíthetőségétől függően. Mielőtt konkrét terveket lehetne készíteni, információt kell szerezni a törmelék tulajdonságairól szemrevételezéssel, anyagjellemzők (méret, keménység) vizsgálatával, radioaktivitásuk mérésével és egyéb jellemzők alapján, emellett környezetük ismerete is szükséges. Mindezen jellemzők jelentősen különbözhetnek mind a reaktortartályon belül, mind a konténmentben. Az ilyen vizsgálatok elvégzését és a törmelék eltávolítását jelentősen hátráltatják a sérült állapotok és a sugárzási szintek. A konténmentből a reaktorcsarnokba, majd onnan a turbinacsarnokba történő szivárgást sürgősen meg kell szüntetni, hogy a törmelék-eltávolítási folyamatot megfelelően tudják előkészíteni és kivitelezni. Az 1. és 2. blokkon több-kevesebb sikerrel azonosították a szivárgások helyeit, amelyek helyreállítására négy módszert dolgoztak

ki. Az, hogy melyik válik működőképpé a négy közül, a még nem felfedezett szivárgási helyektől is függ. Az üzemanyag eltávolítására már előálltak egy előzetes, magas szintű koncepciótervvel. Ez egy távirányítású üzemanyag rakodó berendezést használna, a törmelék végig víz alatt maradna a folyamat során. Azonban alternatív módszereket sem zártak ki, amelyek száraz kirakást alkalmaznának. A területen jelentős kutatás-fejlesztési tevékenységre van még szükség [6.19].

A radioaktív szennyezett víz kezelése

A Fukushima Daiichi atomerőmű területén lévő szennyezett víz kezelése az egyik legnagyobb kihívás a TEPCO számára. A szivárgások korai észlelésére és következményeik azonnali kezelésére azért van szükség, hogy megakadályozzák a szennyeződés terjedését és a létesítmény hosszú távú integritását meg tudják valósítani.

A tároló-tartályokból történő szivárgás kockázatára több esemény is felhívta a figyelmet. 2013 júliusában a TEPCO szennyezett talajvíz szivárgását fedezte fel a tengeri kikötőbe. A radioaktív szennyeződés valószínűleg a 2-es blokk turbinacsarnokából került a vízbe [6.22]. 2013. augusztusban kb. 300 m³ erősen szennyezett víz folyt az egyik tárolótartályból a körülötte lévő talajra [6.23]. Az ezt követő időszakban is többször történtek emberi mulasztásból adódó radioaktív víz szivárgásával járó balesetek. 2014. február 20-án körülbelül 100 tonna erősen szennyezett víz folyt ki egy tárolótartályból az öt körülvevő betongáton kívülre [6.24]. Ezek az események jelentős nemzetközi visszhangot váltottak ki, és kétségek merültek fel a TEPCO elhárítási tevékenységének biztonságos voltával kapcsolatban.

A japán kormány 2013. szeptember 3-án bejelentette, hogy az eddigieknél proaktívabb szerepet vállal megelőző, többretegű ellenintézkedések megvalósításában a szennyezett vízzel felmerülő problémák kezelésére. Kiadta a [6.25] dokumentumot, és több, ezekkel a feladatokkal foglalkozó bizottságot is létrehozott: Inter-Ministerial Council for Contaminated Water and Decommissioning Issues (szennyezettvíz-kezeléssel és leszereléssel foglalkozó tárcaközi tanács), Inter-Governmental Liaison Office near TEPCO's Fukushima Daiichi NPS (kormányközi kapcsolattartó iroda), Inter-Governmental Council for Fostering Mutual Understanding on the Contaminated Water Issue (a szennyezett víz problémájának megértését támogató tanács).

Az ajánlás az ellenintézkedések három alapvető elvét fogalmazta meg:

- a szennyezés forrásának eltávolítása,
- a talajvíz izolálása a szennyezett víztől,
- a szennyezett víz szivárgásának megakadályozása.

Ennek megfelelően a TEPCO számos azonnali ellenintézkedést végrehajtott:

- a szennyezett talajt nátrium-szilikát (vízüveg) fallal vette körül,
- megkezdte a szennyezett víz kiszivattyúzását az árkokból és elvégezte az árkok szigetelését.

A TEPCO által tervezett további ellenintézkedések:

- a talajvíz kiszivattyúzása az alagcsőből mielőtt elérné a reaktorépületeket,
- tengerparti áthatolhatatlan (vízzáró) falak építése,
- szárazföldi oldali áthatolhatatlan falak építése,
- nagyteljesítményű szennyezettvíz-kezelő berendezés telepítése.

A kormány további bizottságot (Committee on Countermeasures for Contaminated Water Treatment) jelölt ki, hogy az ellenintézkedések hatékonyságát ellenőrizze, és végrehajtásuk során tanácsokat adjon. A TEPCO létrehozott egy ezzel foglalkozó osztályt (Contaminated Water and Tank Countermeasure Division) annak érdekében, hogy célzottabban lehessen a problémakört megközelíteni.

A telephelyen nagy mennyiségű vizet kezelnek, amelyből a cézium izotópot leválasztják, majd ezt követően sótalánítják a vizet, amit a sérült reaktorok hűtésére használnak [6.19]. A visszamaradó mennyiséget az erőmű telephelyén tárolják tartályokban. A cézium leválasztását sikeresen végzik a cézium leválasztó berendezés teljesítményének köszönhetően. Eddig több mint $800\,000\text{ m}^3$ vizet kezeltek ezzel az eszközzel.

2013. decemberében a telephelyen kb. $500\,000\text{ m}^3$ szennyezett vizet tároltak.



6-36. ábra: A tárolótartályok az atomerőmű telephelyén [6.25]

A tengerparti földalatti árkokban összegyűlt szennyezett víz viszonylagosan kis mennyiségű, de az aktivitáskoncentrációja magas. Mivel néhány árok megsérült, nagy a veszélye, hogy a környezetét elszennyezi, ezért a víz eltávolítása vagy kezelése sürgős feladat. A TEPCO ezt a veszélyt érzékelve mobil vízkezelő rendszereket alkalmazva a 3. és 4. blokkhoz tartozó árkokban csökkentette az összegyűlt közeg aktivitását. Ezek az eszközök recirkulációs üzemmódban üzemelnek, folyamatos használatukkal a víz aktivitása és az ez által képviselt kockázat jelentősen csökkenthető [6.19].

Az összes, felszíni tartályokban tárolt mennyiségből kb. $300\,000\text{ m}^3$ a fordított ozmózis technológiával sótalánított koncentrátum. Ennek jelentős radioaktív tartalma van a béta-sugárzó ^{90}Sr és ^{90}Y és egyéb, kis mennyiségben jelenlévő más izotópok miatt. A vízkezelési stratégia részeként a TEPCO az ALPS (Multi-Nuclide Removal System) rendszert tervezi használni az összes hasadási termék, aktivációs termék (kivéve a trícium) és aktinida eltávolítására (az aktivitás-koncentráció detektálási határ alatti szintre történő csökkentésére), és ezzel jelentősen csökkentenék a víztárolás veszélyeit. A rendszer, mely a jövőben három párhuzamos ágon dolgozna, áganként $250\text{ m}^3/\text{nap}$ kapacitással próbaüzemben működik, hogy a stabil üzemeltetés és teljesítmény a későbbiekben megvalósítható legyen. A berendezés előkezelő részében korróziós problémák léptek fel, de a TEPCO információi szerint a problémát orvosolták. A NAÜ 2013. decemberi missziójának időpontjáig kb. $30\,000\text{ m}^3$ szennyezett vizet kezeltek a rendszerrel. Hatvankét radionuklidból ötvennyolc nuklid aktivitás-koncentrációját sikerült a detektálási szint alá csökkenteni. A kezelt vízben visszamaradó alacsony aktivitás-koncentrációt a visszamaradt ^{60}Co , ^{106}Ru , ^{125}Sb , ^{129}I jelenléte okozza, amelyeket szintén eltávolítottak, de még detektálhatóak a vízben. A létesítménybe

még két ilyen rendszert terveznek működésbe állítani, amelyek közül az egyiket a TEPCO, a másikat a kormány finanszírozná. További teljesítménynöveléssel várható, hogy a tartályokban tárolt szennyezett víz kezelése felgyorsulhat [6.19].

Az ALPS vízkezelő rendszer nem képes a trícium eltávolítására, ennek aktivitáskoncentrációja a szennyezett vízben több ezer Bq/m³. Az ilyen koncentrációban jelenlévő trícium eltávolítása több százezer köbméternyi vízből technológiai kihívást jelent és még nem találtak rá megfelelő műszaki megoldást. A NAÜ véleménye szerint szükséges megoldást találni a tríciummal szennyezett víz kezelésére, hogy hosszú távon fenntartható utat lehessen járni. Ehhez több lehetőséget gondosan át kell vizsgálni, köztük a szennyezett víz hígítását, majd tengerbe juttatását a szabályok betartása mellett. A TEPCO-nak elemzéseket kell végeznie a potenciális radiológiai hatásokról, ami a lakosságot és a környezetet érintené a víz óceánba engedése során. A döntéshez számos szervezet, hatóság és a kormány hozzájárulása is szükséges [6.19].

A radioaktív hulladékok kezelése

A vízkezelésből származó másodlagos hulladék kezelése

A nagy mennyiségű szennyezett víz kezelése sok másodlagos hulladék keletkezésével jár, mint pl. használt szorbens oszlopok és iszap, amely a kicsapás és az előkezelés során keletkezik. Az elhasznált szorbensek zeolitokat és egyéb szelektív ioncserélő anyagokat tartalmaznak. Az iszap összetétele attól függ, hogy melyik folyamat során keletkezett. Míg a radioaktivitás nagy része ezekben a másodlagos hulladékokban a cézium izotópoknak köszönhető, addig az ALPS rendszerek üzemeltetésével stroncium és egyéb radionuklidok is jelentős mennyiségben jelen lesznek.

A cézium izotópokban dús használt oszlopokat jelenleg egy elkülönített helyen tárolják, amelyek vagy önárnyékoló kialakításúak, vagy beton dobozokban vannak elhelyezve. Az ALPS rendszer előkezelési eljárásaiból származó iszapot földfeletti, magas integritású konténerekben gyűjtik.

A jelenlegi és tervezett vízkezelő rendszerek alkalmazása várhatóan nagy mennyiségű másodlagos hulladék keletkezésével fog járni, feltehetően több ezer köbméter nagyságrendben, sokszor erősen radioaktív szennyezéssel.

A NAÜ csoportja megfelelőnek találta a másodlagos hulladékok átmeneti tárolását, de hosszú távon szükségesnek véli új módszerek kidolgozását, amellyel a jövőben megoldható végleges elhelyezésük.

Szilárd hulladékok

A szilárd radioaktív hulladék radioaktív szennyezett talajból, a hidrogénrobbanás miatt kidőlt fákból, épületekből származó törmelékből, földmunkák során kitermelt talajból áll. A TEPCO ezek tárolására lerakókat jelölt ki a telephelyen, amelyek közül néhány már működik, néhány pedig építés alatt áll. 2013. augusztus 31-ig 65 000 m³ törmelék gyűlt össze tíz lerakóban, 51 000 m³ fahulladék öt másik lerakóban. A 2013. áprilisi adatokhoz képest ez 16 000 m³ növekedést jelent, ami jól mutatja a leszereléssel járó hulladék mennyiségét.

Az összegyűlt hulladék mennyisége már most jóval nagyobb, mint egy normál atomerőművi blokk leszerelésénél átlagosan keletkező 10 000 m³/reaktor mennyiség. A NAÜ 2013. áprilisi missziója során végzett becslés alapján akár 800 000 m³-nyi hulladék is lehet az 1-4. blokkban. Mivel ennek nagy része valószínűsíthetően szennyezett, ezért az elhelyezésre

kerülő mennyiség csökkentésére stratégiát kellett kidolgozni. A radioaktív hulladék, és ezáltal a tároló szükséges térfogata nagyban függ az egész telephelyre kidolgozott hulladékkezelési stratégiától, ezért a TEPCO közép- és hosszú távú ütemterv kidolgozásába kezdett a szilárd hulladékokat illetően. Ez folyamatos fejlesztéseket ír elő a hulladék csökkentésére és tárolására vonatkozóan.

A hulladék térfogatának csökkentését minden lehetséges esetben el kell végezni, hogy a kibocsátást és a kimosódás miatti környezetterhelést, még az alacsony szennyezettségű hulladékok esetén is minimalizálják. A fémeket például felhalmozás helyett dekontaminálni vagy olvasztani célszerű. Ezzel elkerülhető az igen drága középtávú tárolás, illetve a nem várt szivárgások és talajszennyezés. A fémek olvasztása 70-80%-os térfogatcsökkenést eredményez, ez a nem tervezett levegő- és talajszennyezést is csökkenti.

A kis szennyezettségű, vagy nem szennyezett fa- és betonhulladékok újrahasznosítására már léteznek tervek, ezeket a telephelyi építkezések során fogják hasznosítani. A fémhulladékok kezelésére született koncepció szerint a felületi tisztítást, olvasztást követően árnyékolásra vagy tárolótartályok készítésére fogják használni a fémhulladékokat. A hulladékok radiológiai alapon történő osztályozásának és szétválogatásának módszerét jelenleg dolgozzák ki. A jelenlegi koncepció szerint a hulladékokat 20-25 évig tárolnák a telephelyen, mielőtt elszállítanák a tárolóba. Jelenleg az erősen radioaktív hulladékot a meglévő szilárd hulladékgyűjtőkben és földborítású átmeneti tárolókban tartják homokzsákos árnyékolással annak érdekében, hogy a dolgozókat érő dózist csökkentsék.

Azokat a kidőlt, kivágott fákat (ágakat, leveleket és gyökérzetet), amelyeken a mért dózisteljesítmény nagyobb, mint a háttér, ideiglenes tárolókban tartják. Az ütemtervben szereplő hulladékkezelési irányelv szerint a fák elhelyezésének megkönnyítése érdekében egy új tároló létesítményt terveznek, ahova több mint 23 000 hordó helyezhető el. A tároló a tervek szerint 2015-ben kezd el üzemelni. A végső tárolót 20-25 év múlva kívánják megnyitni. A teljes leszerelés és az építmények lebontása azonban ennél sokkal tovább fog tartani. Ezért annak a lehetőségét is figyelembe kell venni a telephelyen létesítendő új átmeneti tárolók esetén, hogy a tervezett 20-25 évnél hosszabb ideig kell majd működniük [6.19].

A talajvíz turbina- és reaktorcsarnokba történő beáramlásának megakadályozása

A Fukushima Daiichi atomerőmű 1., 2. és 3. blokkjánál a reaktor- és turbinacsarnokba beáramló talajvíz naponta kb. 400 m³ víz radioaktív elszennyeződését eredményezi. A baleset előtt az épületek körül lévő csatornákból a vizet folyamatosan szivattyúzták, hogy csökkentsék a talajvíz szintjét és az épületekre ható felhajtóerőt. Ezek a szivattyúzók berendezések a cunami során megsérültek, működésük leállt. Ennek eredményeként a talajvízszint megemelkedett, a csövek megsérültek, és napi mintegy 400 m³ talajvíz folyik a reaktor- és turbinacsarnokba, amelyek alapszintje a külső talajvíz szintje alatt van. Ez a beáramló talajvíz összekeveredik az épületekben összegyűlt szennyezett vízzel, ezzel növekvő mennyiségű folyékony hulladék keletkezik.

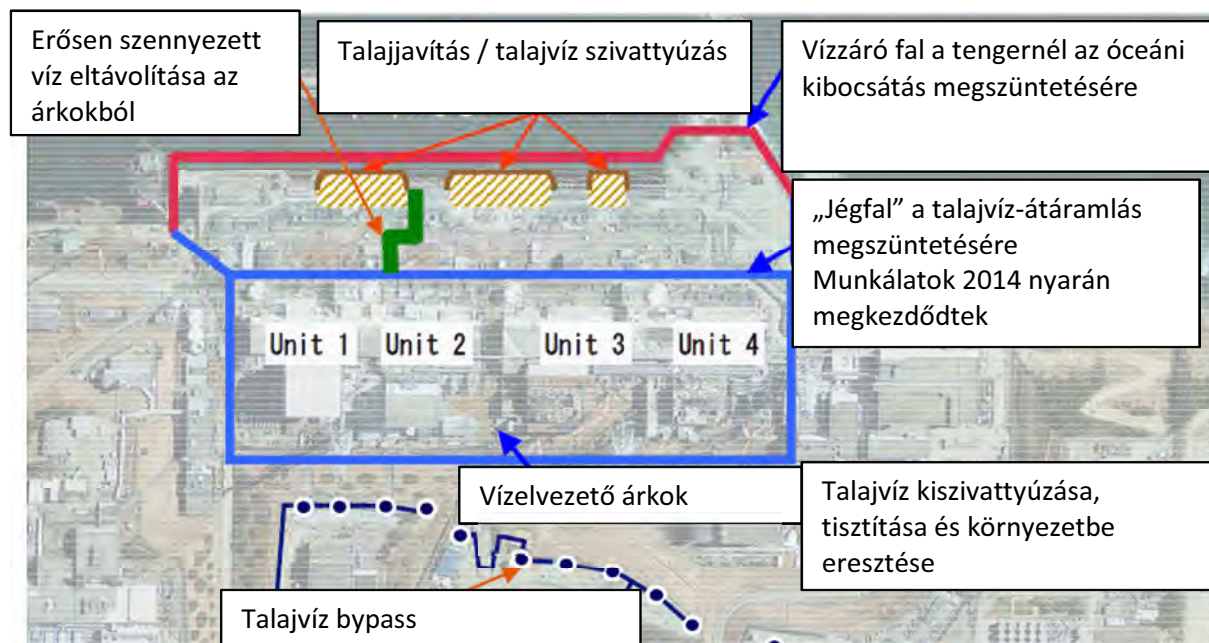
A probléma megoldása nem olyan egyszerű, hogy a víz beáramlásának megállítása vagy a mennyiség csökkentése elégséges lenne. Jelenleg a vízszintet állandó értéken tartják, hogy a turbina- és reaktorcsarnokban megakadályozzák a radioaktivitás terjedését. Ezt úgy valósítják meg, hogy az épületekben lévő vízszint alacsonyabb, mint a környező talajvíz szintje. Amíg a reaktorok hűtésére a jelenlegi módszert alkalmazzák, addig mindenképp felügyelni kell az épületekbe beszivárgó víz mennyiségét. A leszerelési folyamat során az alábbi célok közötti egyensúlyt kell megvalósítani:

- a sugárzási szintek optimalizálása,

- vízszintek állandó értéken tartása, és ezzel az épületekből történő kiáramlás megszüntetése,
- a nem kívánt talajvízbeáramlás minimalizálása, hogy minél kevesebb szennyezett víz keletkezzen,
- a szennyezett víz tengerbe áramlásának megakadályozása.

A TEPCO a talajvíz szintjének szabályozására egy komplex programot dolgozott ki, ennek lépései:

- talajvíz bypass rendszert telepítettek, hogy a beáramló víz mennyiségét csökkentsék,
- a már meglévő csatornákat visszaállították és újakat alakítottak ki az épületek körül, hogy a talajvízszintet csökkentsék, és ezzel lecsökkentsék a befolyó víz mennyiségét,
- néhány beáramlási pontot eltömítettek,
- meghatározott területeken vegyszert juttattak a talajba, hogy csökkentsék a talaj permeabilitását,
- a turbinacsarnokban és reaktorépületben adott vízszintet tartanak ahhoz, hogy megakadályozzák a víz kijutását,
- áthatolhatatlan falat építenek az 1-4. blokkok köré talajfagyasztási technológiával, hogy megakadályozzák a talajvíz befolyását az épületekbe,
- áthatolhatatlan partmenti falat építenek.



6-37. ábra: Az óceáni kibocsátások megszüntetésére szolgáló intézkedések

A telephelyi munkálatok által okozott sugárterhelés

A telephely határára számított, a gáznemű és folyékony kibocsátásból valamint a szilárd radioaktív hulladékoktól származó effektív többletdózisra vonatkozó korlát 1 mSv/év. Ez a határérték az atomerőműben zajló leszerelési munkából adódó többletdózis, és független a baleseti kibocsátás által okozott többletdózistól. A gáznemű kibocsátásból számítható többletdózis összetétele 2014. áprilisban a kibocsátó források szerint a következő:

- külső levegő dózis $1,8 \times 10^{-6}$ mSv/év,
- a talajra kihullt szennyeződés okozta külső dózis $2,8 \times 10^{-2}$ mSv/év,
- belégzésből és lenyelésből adódó belső többletdózis $1,8 \times 10^{-4}$ mSv/év.

Ezek összege jelentősen alacsonyabb érték, mint a meghatározott korlát. Mivel folyékony kibocsátás nem történik rendszeresen, ennek nincs hozzájárulása a teljes terheléshez. Ezzel szemben a 2013. április óta a fordított ozmózis technológiás kezelésből származó visszamaradt vizet földalatti tárolók helyett felszíni tartályokba töltik, ezért a direkt gamma sugárzás és a légköri terjedésből származó terhelés jelentősen megnőtt. Az effektív dózis jelenleg a telephely határán 0,47-0,78 mSv/év. Ennek következményeként a tárolt víz miatt az 1 mSv/év korlátot nem minden esetben sikerült tartani. A korlát szigorúbb betartásának követelése a leszerelési munkát hátráltatná.

A NAÜ véleménye szerint a szennyezett víz tengerbe engedésének környezeti hatásait elemezni kell a nukleáris hatóság (Nuclear Regulatory Authority, NRA) által meghatározott 1 mSv/év dóziskorlátra alapozva. A NAÜ azt javasolta a japán kormánynak, a TEPCO-nak és a hatóságnak, hogy egyeztessenek a szennyezett víz kiengedéséről, és vegyék figyelembe, hogy a kibocsátásra szánt szennyezett víznek jelentős tríciumtartalma lehet. Mivel a trícium nem akkumulálódik a tengeri flórában és faunában, és nagyon alacsony a dóziskonverziós tényezője, ezért csaknem elhanyagolható az általa okozott dózisterhelés. A NAÜ azt is vállalta, hogy továbbra is konzultációt biztosít a biztonsági és környezeti hatások elemzésének elvégzésével, az ellenőrzött kiengedéssel kapcsolatban, és a szakemberképzésében is segítséget nyújt [6.19].

6.5 Irodalomjegyzék

- [6.1] Fukushima Nuclear Accidents Investigation Report Attachment (of Final report 2012 jun.) pp406
- [6.2] REPORT OF THE JAPANESE GOVERNMENT, 2011. JÚNIUS;
- [6.3] ADDITIONAL REPORT OF THE JAPANESE GOVERNMENT TO THE IAEA 2011. SEPTEMBER
- [6.4] NATIONAL DIET INDEPENDENT INVESTIGATION 2012. JULY
- [6.5] IRSN FUKUSHIMA 1 YEAR LATER INITIAL ANALYSES OF THE ACCIDENT AND ITS CONSEQUENCES 2012, pp139
- [6.6] ACTIONS IMPLEMENTED IN DATE CITY
[HTTP://WWW.JAEA.GO.JP/FUKUSHIMA/PDF/DECON_J_11.PDF](http://www.jaea.go.jp/fukushima/pdf/decon_j_11.pdf)
- [6.7] IAEA missions, final report 2013. október, pp42
- [6.8] IAEA Mission report. 2013. április 15. pp22-pp40
- [6.9] Masaru Moriya (MOE), Decontamination Project in Fukushima Prefecture Conducted by Japanese Government
- [6.10] MOE, Progress on Off-site Clean-up Efforts in Japan 2013 szeptember 16.
- [6.11] Kuniaki MAKIYA (MOE), Overview of offsite clean-up activities 2012. július 23.
- [6.12] Mid-and-Long-Term Roadmap towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1-4. Council for the Decommissioning of

- TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Tokió (2013). pp 25-28; Individual R&D project toward decommissioning etc. of Tokyo Electric Company Fukushima Daiichi NPS Units 1 to 4 c. melléklet
- [6.13] Mid-and-Long-Term Roadmap towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1-4. Council for the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Tokió (2013).
- [6.14] Completion of Reliability Improvement Work for Accumulated Water Transfer Pipeline between the On-Site Bunker Building and the Process Main Building at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. TEPCO, Tokió (2013).
- [6.15] Progress Status and Future Challenges of the Mid-and-Long-Term Roadmap towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1-4. TEPCO, Tokió (2014. március)
- [6.16] IAEA International Peer Review Mission on Mid-And-Long-Term Roadmap Towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1-4 (Second report) IAEA jelentés, Bécs (2014)
- [6.17] http://photo.tepco.co.jp/library/131030_02e/131030_01-e.pdf
- [6.18] <http://www.world-nuclear-news.org/uploadedImages/wnn/Images/Fukushima%20Daiichi%201%20cover%20-%20complete.jpg>
- [6.19] IAEA International Peer Review Mission on Mid-and-long-term Roadmap Towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Stations Units 1-4 (Second mission), Tokyo and Fukushima Prefecture, Japan, 25 November – 4 December 2013
- [6.20] http://photo.tepco.co.jp/library/131030_02e/131030_01-e.pdf (2013. 10. 30.)
- [6.21] <http://www.tepco.co.jp/en/decommision/index-e.html> (2014. 04. 28.)
- [6.22] http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/2013/1228835_5130.html (2013. 07. 10.)
- [6.23] http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/handouts/2013/images/handouts_130820_03-e.pdf (2013. 08. 20.)
- [6.24] http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/handouts/2014/images/handouts_140220_05-e.pdf (2014. 02. 20.)
- [6.25] <http://www.cbsnews.com/news/japan-probes-radioactive-leak-in-new-storage-tank-at-tsunami-hit-fukushima-nuclear-plant/> (2013. 06. 06.)
- [6.26] Hironori NAKANISHI: Current status of Fukushima Daiichi NPS - Efforts for Contaminated Water Issue and Decommissioning, 18 February 2014.
- [6.27] Naomi Hirose: Responsibilities and Approach of TEPCO — Stabilization, Decommissioning, and Nuclear Safety of the Damaged Reactors, April 15, 2014, The 47th JAIF ANNUAL CONFERENCE April 15-16, 2014
- [6.28] Efforts to ensure ocean protection, Tokyo Electric Power Company, August 11, 2014