

# Csernobili nukleáris védőszerkezetek

Móga István

MORITA Mérnökiroda Kft.

Budapest, Bogdánfy u. 7/B, tel.: +36 30 9241551

A Csernobil Atomerőmű nukleáris védművei a világon egyedülálló rendeltetési céllal, különleges körülmények között, igen nagy költséggel épült szerkezetek. A tanulmány bemutatja a nukleáris baleset után közvetlenül megépült védmű és a napjainkban elkészülő fedőszerkezet építésének főbb jellemzőit. A megvalósítás főbb részleteit helyszíni tapasztalatok és tájékoztatók, szakirodalmi kutatás felhasználásával foglalja össze.

## Bevezetés

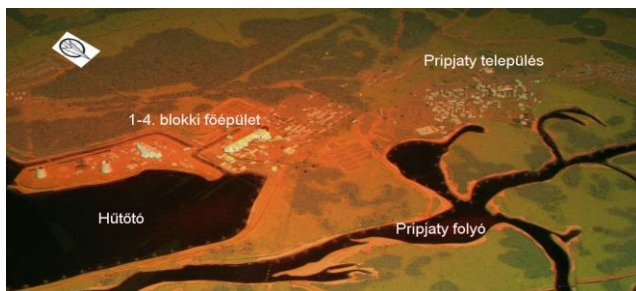
A Magyar Nukleáris Társaság a Fialok a Nukleáris Energetikáért szakcsoportjának égisze alatt, 2017. június 17-21. között tanulmányi utat szervezett a Csernobil Atomerőmű megtekintésére. A tanulmányútra való felkészülés és a helyszíni tájékoztatások, tapasztalatok alapján készítette el a szerző összefoglalását a 4. blokk, 1986. április 26.-án bekövetkezett súlyos nukleáris balesete ([8]) következményei felszámolásának mai helyzetéről. Az ismertetés az erőművi főépület sérülését, a baleset után közvetlenül kivitelezett és a napjainkban elkészülő új nukleáris védművek építésének főbb részleteit és körülményeit tárgyalja.

## Erőművi építmények

Tájékozódásunkhoz, a főépület sérüléseinek, a védművek építése eseményeinek jobb megértéséhez ismernünk kell térbeli elhelyezkedésüket.

## Helyszínrajzi elrendezés

A Csernobil (ukránul Csornobil) Atomerőmű főbb létesítményei elhelyezésére az iparági gyakorlatnak megfelelően az égtájak irányához igazodóan került sor. Az alábbi fénykép központjában látható 1-4. blokki üzemi főépület tengelye K-Ny-i irányú. Ettől DK-re láthatjuk a tervezett 5-6. blokk építési területét, az É-D-i tengelyre telepített főépülettel. ÉNy-irányban található Pripjaty település. Az erőműtől K-re látható a hűtőtó, mellette a Pripjaty folyó.



1. ábra: Az erőmű telepítési helyszíne. Terepasztal, Csernobil Múzeum, Kijev (fotó: Móga István).

## Védőszerkezetek funkcionális és szerkezeti jellemzői

A baleset után közvetlenül megépült és az új védőszerkezet lényegesen eltérő körülmények között, egymástól lényegesen eltérő szerkezeti megoldással készült. Megkülönböztetésükhöz át kell tekintenünk az építmények funkcionális és szerkezeti jellemzőit, meg kell ismernünk az épületek rendeltetési céljában és a megvalósítás szerkezeti jellegében mutatkozó hasonlóságokat és különbségeket.

Mindkét építmény védelmi céllal készült (Shelter Object), a környezet védelmét biztosítják a radioaktív anyag sugárzásával szemben és megakadályozzák a veszélyes anyag szétterjedését. Ez részben más, egyébként pedig egyszerűbb követelmény, mint pl. az összetett funkciójú és bonyolult technológiai rendszereket magában foglaló konténment működése. Mindkét építmény a világon egyedülálló rendeltetési céljában, szerkezetében és költségében.

A ma általánosan használatos értelmezés szerint a konfinement fogalmát a radioaktív anyagok szétterjedésének megakadályozására vonatkozó biztonsági funkció megnevezésére alkalmazzák ([5]). A konténment ezen funkció megvalósítására, azaz a fizikai szerkezetre utal.

Esetünkben a közös funkció a konfinement fogalmával határozható meg. A vonatkozó szakirodalom nagyobb részében ezt használják az új védőszerkezet megnevezésére (New Safety Confinement, pl. [3], [6], [9]).

A balesetet követően elkészült szerkezet szarkofág néven került be a nemzetközi és hazai köztudatba ([1]). A köznyelvi elnevezés találó és közérthető módon utal a védelem jellegére, nevezetesen a minden oldalról, alul-fölül körbevett, bezárt tér funkciójára. Az ókori analógia azonban nem tekinthető az építési szakterület megalapozott és meghatározott fogalmának, a szakirodalmi források ritkán alkalmazzák. Az építmény az új célnak és a lehetőségeknek megfelelő, rendkívül veszélyes körülmények között, óriási áldozatokkal, a megmaradt építmény-

részek kiegészítésével és megerősítésével kivitelezett védműnek tekinthető.

A napjainkban megvalósuló szerkezet a nukleáris védmű egy másik típusú megvalósítása, amely az épület alatt nem hoz létre új zárást, így (le)fedésnek tekinthető. Az orosz és ukrán nyelvű szakirodalom ezt a fogalmat (objekt ukritije) használja a szerkezet megnevezésére ([9], ukrán nyelvű változat). A lefedés acél rácsos ívtartó szerkezet felhasználásával készült.

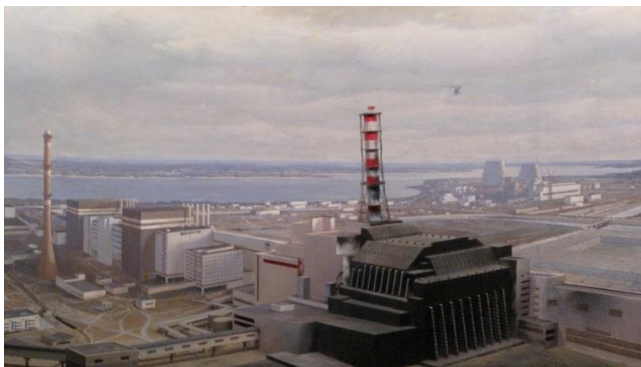
### A védmű építése

A csatornatípusú, nagy energia kimenetelű (Reaktor Bolsoj Mosnosztyi Kanalni, RBMK) reaktor az első generációs konstrukciók egyike. Ezek egyik jellegzetessége, hogy az erőmű építéskor a reaktort nem foglalták bele nyomástartó (belső nyomásnak ellenálló) épületszerkezetbe, konténmenttel nem rendelkezik. A reaktorépület és a kapcsolódó építményrészek súlyos sérülése többek között erre is visszavezethető (ld. 2. ábra).



2. ábra: Az üzemi főépület É-Ny-i nézete, előtérben a sérült 4. blokki főépület. Demonstrációs ábraraszorlat részlete, Csernobil Múzeum, Kijev (fotó: Móga István).

A baleset után az ideiglenes jellegű védmű építése a meglévő, a robbanás után megmaradt szerkezetek felhasználásával történt (3. ábra).



3. ábra: A 4. blokki védmű É-Ny-i nézete. Demonstrációs ábraraszorlat részlete, Csernobil Múzeum, Kijev (fotó: Móga István).

Az építéskor elsőként meg kellett oldani a szerkezet alulról történő hűtését, a nukleáris üzemanyag átolvasztási hatása megakadályozására. Az alapozás hozzáféréséhez szükséges alagutat bányászok készítettek.

A szerkezet É-i, az épület hossz tengelyével párhuzamos falát a meglévő szerkezetek és az új betonszerkezetek együttese képezi, K-i fala maga a reaktorépület szerkezete. A D-i falszerkezet a függőlegestől kb. 15 fokkal döntött acél panelokból készült, a Ny-i fal támpillérekkel erősített, új,

nagyméretű betonszerkezet, ez ismerhető fel leggyakrabban a fényképeken ([10]). A tetőszerkezetet három fő szerkezeti elem (gerenda) támasztja alá (ld. 4. ábra).



4. ábra: 4. blokki reaktorépület modell. A sérült építmény a védmű elkészülte utáni állapotban. Látogató Épület, Csernobil Atomerőmű (fotó: Móga István).

Az ideiglenes szerkezet a károsodási folyamatának előrehaladása következtében több alkalommal igényelt helyreállító és javító beavatkozást.

## Fedőszerkezet

### A létesítés céljai

Az új biztonságos konfinement szerkezete, a fedőszerkezet megvalósítása az alábbi problémák megoldását célozza ([9]):

- 1.) Sugárbiztonság javítása: a burkolat korlátozza az egyéneket, a lakosságot és a környezetet érő sugárzás szintjét, 100 évre, a tervezett élettartamának megfelelően.
- 2.) Védmű összeomlás valószínűségének csökkentése az instabil szerkezetek bontásával.
- 3.) Védmű esetleges összeomlása következményeinek mérséklése, a fedőszerkezet védelme következtében (a keletkező por visszatartása révén).
- 4.) Védmű nukleáris biztonságának javítása: az atmoszferikus nedvességnek az üzemanyag tartalmú anyagba történő behatolásának és felhalmozódásának megakadályozása révén, az önfenntartó láncreakció bekövetkezése valószínűségének csökkentésével.
- 5.) A „Védmű átalakítás biztonságos környezeti rendszerré” stratégia utolsó szakasza végrehajthatóságának biztosítása.

### Az új biztonságos konfinement főbb jellemzői

1992-ben jelent meg az ukrán kormány nemzetközi versenypályázata a meglévő védmű helyettesítésére. A 394 beadványból 19-t vizsgáltak részletesen, egyedül a brit ajánlás vonatkozott eltolt ívszerkezet építésére. Győztest nem hirdettek, a második a francia beadvány volt, a harmadik az angol és német beadvány, megosztva.

Az első három ajánlat kiértékelése után, legjobbként az eltolt ív megoldást javasolták. Az eltolás módszere alkalmazásával a legkisebb a valószínűsége annak, hogy a munkások káros sugárdózist kapjanak ([11]).

A megvalósítás ezt igazolta, az ívszerkezetek kivitelezésénél a dolgozók a 0,0075 mSv/h dóziskorlát határérték alatt dolgoztak ([7]).

Az eltolt ívszerkezet előnyei:

- A nem a helyszínen végzett kivitelezés minimalizálja az építők munkások sugárterhelését.
- Az ívszerkezet szorosan illeszkedik a sérült építményhez.
- Az ívszerkezet betolása könnyebb, mint derékszögű négyzet elem betolása.

Az ívszerkezet méretei meghatározása a meglévő védmű bontásához szükséges berendezések helyigénye figyelembe vételével történt ([9]).

A létesítmény megépítésére a 2001. 03. 12-én elfogadott „Védmű átalakítás biztonságos környezeti rendszerré” stratégia alapján került sor. A Stratégia főbb fázisai (5. ábra):

1. szakasz - Védmű épületszerkezetei stabilizálása,
2. szakasz - Új biztonságos konfinement építése,
3. szakasz - Biztonságos környezeti rendszerré átalakítás.

Az 1-2. szakasz munkái a Védelem Megvalósítási Terv keretén belül, 2017 végéig kerülnek megvalósításra. A projekt finanszírozója a Chernobyl Shelter Found, több mint 40 ország és szervezet közreműködésével.



5. ábra: A Stratégia végrehajtása ([9]).

A Stratégia harmadik szakaszának megfelelően az üzemanyag tartalmú anyagokat a védműből biztonságos és ellenőrzött körülményeket biztosító létesítménybe és/vagy mélyégi geológiai lerakóba szállítják. A harmadik szakasz megvalósítására jelenleg nem biztosított a szükséges technológia, tudományos támogatás és finanszírozási forrás.

**Tervezés**

A fedőszerkezet tervezésénél - a 100 éves tervezett élettartamának megfelelően - számoltak a klímaváltozás előrelátható hatásaival. A meglévő, rossz állapotú védmű védelmére, a környezettől való elhatárolására, lefedésére az épületektől általában elvárt tételhatároló (pl. esővédő) funkciókat kell biztosítani ([3]).

**Tervezési alap**

Tervezett élettartam: 100 év

Földrengésállóság: 6 fokozat, 0,08g

Tornádó ellenállási fokozat: 3. osztály (254-332 km/h szélesség ([7])

Hőmérséklet: - 43 °C - +45 °C ([7])

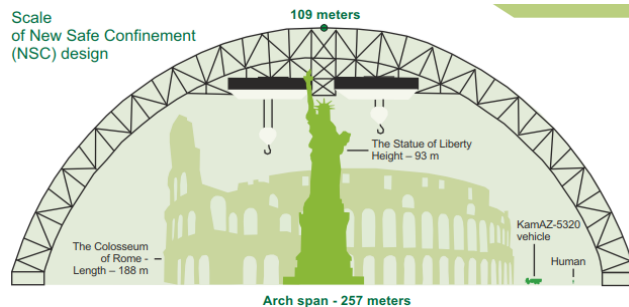
A tervezésnél meghatározó követelmény a védműbe zárt radioaktív anyagok elterjedése elleni védőgát biztosítása, amely szivárgásmentes kialakítással érhető el:

- Gyűrűs tér kialakítása - az ívszerkezet külső és belső burkolata közötti tér, ahol a lefedés belső teréhez

viszonyított állandó túlnyomás fenntartása szellőző-rendszerrel történik, amely megakadályozza radioaktív anyagok környezetbe jutását.

- Az ívszerkezet és a meglévő védmű közötti rugalmas membrán kapcsolat biztosítja egyrészt a szivárgásmentességet, másrészt minimalizálja az ívről a meglévő szerkezetekre jutó hatásokat (terhelést).

Az építmény főbb paramétereit, a szerkezet monumentalitását a New York-i Szabadság szobor és a római Colosseum berajzolása érzékelteti (ld. 6. ábra).

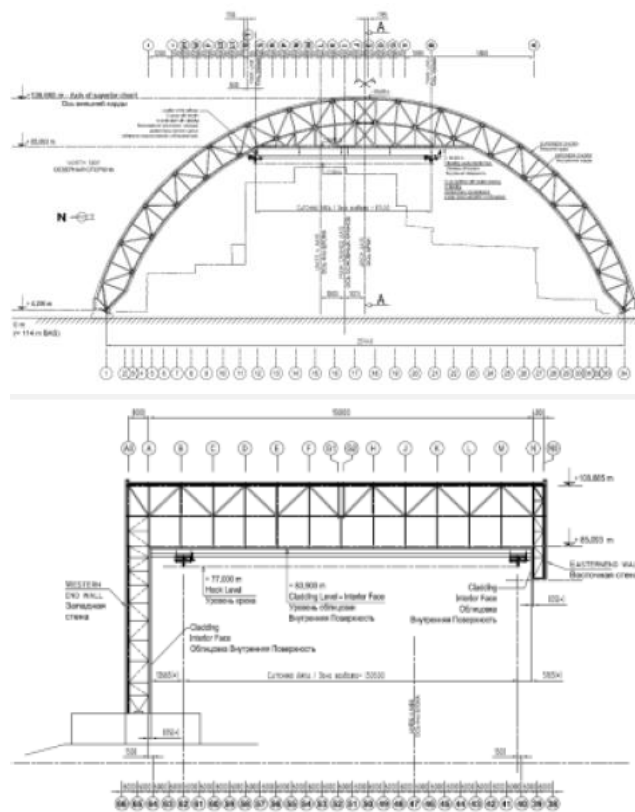


6. ábra: Az ívszerkezet összehasonlító méretei ([9]).

**Épület- és tartószerkezeti megoldások**

**Ívszerkezet**

A fő teherhordó szerkezet a 108 m magas, 257 m fesztávolságú, acél íves rácsos tartó (7. ábra).



7. ábra: A tartószerkezet kereszt- és hosszmetsete ([3])

A 16 db íves főtartó háromszög keresztmetszettel, 12 m magassággal készült, a teljes szerkezet 162 m hosszú. A fő acélszerkezet tömege 30000 tonna.

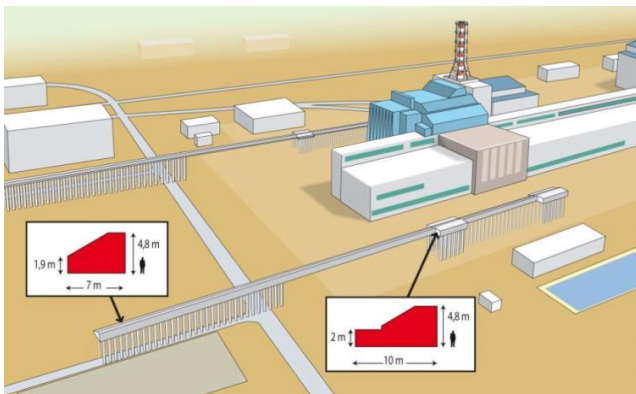
Az ívtartó keresztmetszetének magasságát jól érzékelteti a rácsos tartóba épített ideiglenes szerelőállvány mérete (8. ábra).



8. ábra: Szerelőállvány a 12 m keresztmetszeti magasságú, acél rácsos ívtartó rúdjai között ([2]).

### Alapozás

Az ívszerkezet alapozását az É-i és D-i oldalon szimmetrikusan elhelyezett, cölöpalapozású fejgerendák alkotják (9. ábra).



9. ábra: Alapozások ([3]).

A helyszínen készülő (monolit) gerendák alátámasztására kör keresztmetszetű, 25 m mélységű, fúrt cölöpöket alkalmaztak.

Az alapozás 20000 m<sup>3</sup> beton felhasználásával készült ([7]).

### Burkolatok

#### Külső burkolat

A többrétegű fizikai határ/szerkezet célja a nedvesség és a hőmérsékletváltozás korlátozása:

- Extrém időjárási körülmények elleni védelem (eső, extrém hőteher és szél), a 100 éves élettartamra.
- Az 1.5 osztályba sorolt tornádó okozta hatás és hőmérsékletingadozás elleni ellenállás, maradandó alakváltozások nélkül.
- A 3 osztályba sorolt tornádó esetén megengedett a maradó alakváltozás, a szerkezet sérülése nélkül.
- Belső tűz esetén megőrzi integritását és szigetelőképességét.

#### Belső burkolat

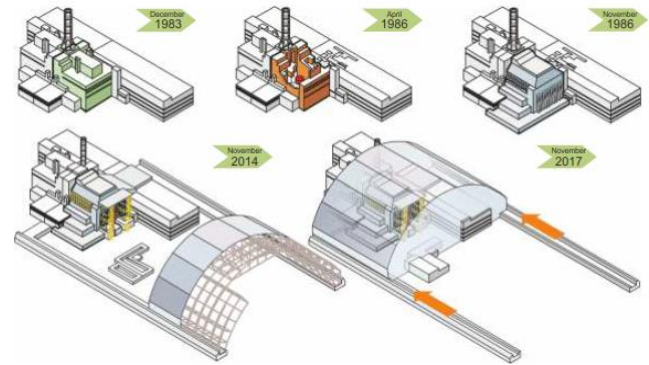
- A héjszerkezet 300 mm széles sík, korrózióálló panelekből készült.
- Megakadályozza a belső térből a por és részecskék bejutását a gyűrűs térbe.

- Korlátozza a belső tűz hatását az ívszerkezetre vonatkozóan, minimális deformációval.
- Elvárt tulajdonságait 0,1 Gy/h sugárzás alatt megtartja.
- Elvárt tulajdonságait a teljes 100 éves tervezett élettartam alatt megtartja.

A belső burkolat 86000 m<sup>2</sup> felületen készült.

### Az építmény kivitelezése

A blokki események és a fedőszerkezet építési módszerének vázlatát a 10. ábrán láthatjuk.



10. ábra: A 4. blokki üzembe helyezés, a nukleáris baleset, védmű építése és a fedőszerkezet megvalósítása ([9]).

A szerkezet a főépülettől távolabb létesített szerelőtéren, két ütemben készült. Az elsőként elkészült fél szerkezetet a főépület felé tolták, felszabadult helyén készre szerelték a második fél szerkezeti részt. Elkészülte után a két fél szerkezetet összekapcsolták, majd a teljes szerkezetet tolták a végleges helyére. A betolás 330 m-es eltolást jelentett, amelyet 33 órás, megszakítás nélküli folyamatként végeztek el ([3]). A fedőszerkezet szerelési fázisának két állomását a 11. és 12. fényképen láthatjuk.



11. ábra: A szerelőtéren összekapcsolt szerkezet ([6]).



12. ábra: A fedőszerkezet DK-i látképe, a végleges helyén. Előtérben a 3. blokk épülete a közös szellőzőkéménnyel (fotó: Móga István).

Az eltolás mértékét a szerkezet látható homokfala és a szellőzőkémény közötti távolság változásával mérhetjük.

A fedőszerkezet tervezésére, a beszerzésre és kivitelezésre francia óriás vállalatok, a VINCI Construction Grands Projects (a konzorcium vezetőjeként) és a Bouygues Travaux Publics kötöttek konzorciumi szerződést (ld. 11. fényképen a tábla alsó része). A közös vállalként alapított NOVARKA alvállalkozói közül egyet mindenképpen meg

kell említeni, a táblán nem nevesített Cimolai S.p.A. gyártotta Olaszországban az acél rácsos ívszerkezeteket ([4]). A projektmenedzsment feladatok elvégzésének meghatározó vállalata az ismert, ugyancsak óriás méretű, amerikai Bechtel.



13. ábra: A projekt meghatározó résztvevői. Csernobili Atomerőmű (fotó: Móga István).

Az Európai Fejlesztési Bank a finanszírozó alap menedzsereként működött közre ([7]). A táblán az ukrán és további külföldi főbb résztvevők neve látható.

## Összefoglaló

A tanulmány a konfinement biztonsági funkciót megvalósító csernobili nukleáris védőszerkezetek (védművek) két megoldásának leírását tartalmazza. Az 1986-ban megépített, ideiglenes jellegű védmű mellett a napjainkban elkészülő új védmű, a fedőszerkezet főbb jellemzői bemutatására került sor.

Az új, biztonságos konfinement követelményeit teljesítő fedőszerkezet - mind a közvetlen környezet, mint a tágabb európai térség szempontjából - rendkívüli jelentőséggel bír. A megvalósított építmény tervezési folyamata, kivitelezése rendkívüli és magas színvonalú. A fedőszerkezet egésze és részletei ourunk egyik csúcs építőmérnöki alkotásának tekinthető.

## Irodalomjegyzék

- [1] Bakos F. (2004). *Idegen szavak és kifejezések szótára*, Akadémiai Kiadó, 723 p. ISBN963 05 8751.
- [2] DuBose, B. (2017). *New Safe Containment Project Cuts Corrosion Risk at Chernobyl*, <http://www.materialperformance.com/articles/material-selection-design/2017/02/new-safe-containment-project-cuts-corrosion-risk-at-chernobyl>, [2017.09.13.].
- [3] EBRD (2017). *New Safe Confinement, Technical presentation*, <http://www.ebrd.com/what-we-do/sectors/nuclear-safety/chernobyl-new-safe-confinement.html>, [2017.06.08].
- [4] Cimola S.p.A. <http://www.cimolai.com/projects.php?t=1>, [2017.09.22.].
- [5] IAEA (2007). *IAEA safety glossary: terminology used in nuclear safety and radiation protection*, International Atomic Energy Agency, Vienna, 227 p., ISBN 92-0-100707-8
- [6] Novak, V. (2016). *The Chernobyl New Safe Confinement. History and Outlook*, European Bank for Reconstruction and Development, Marc 2016, 4p.
- [7] NOVARKA (2016). *Chernobyl New Safe Confinement: a one-of-a-kind project*, Press Kit, November 29th 2016 press conference, Chernobyl, Ukraine, [https://www.vinci.com/vinci/actualites.nsf/8B8A50CC6F1891E8C1258079005011BA/\\$File/VINCI\\_RV\\_Dossier\\_de\\_presse\\_Tchernobyl\\_GB.pdf](https://www.vinci.com/vinci/actualites.nsf/8B8A50CC6F1891E8C1258079005011BA/$File/VINCI_RV_Dossier_de_presse_Tchernobyl_GB.pdf), [2017.06.07].
- [8] NucNet (2016). *Chernobyl Factfile*, The Nuclear Communication Network, 24 p. [www.nucnet.org](http://www.nucnet.org).
- [9] SSE (2016). *Chornobyl Nuclear Power Plant*, 13 p., <http://chnpp.gov.ua/images/pdf/books/prospect-en.pdf>, [2017.06.06].
- [10] Wikipedia (2016). *Chernobyl New Safe Confinement*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl\\_New\\_Safe\\_Confinement](https://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_New_Safe_Confinement), [2017.06.06].
- [11] <http://chernobylgallery.com/chernobyl-dysaster/new-safe-confinement/>, [2017.09.22.].