

Vypracovali: František Köhler, Barbora Holíková, Michal Pospíšil

Vedoucí práce: Ing. Radek Štefan, Ph.D.

Beton v extrémních podmínkách

ČERNOBYLSKÁ JADERNÁ ELEKTRÁRNA (ČERNOBYLSKÝ SARKOFÁG)

Obsah

Úvod.....	3
1. Havárie.....	5
1.1 Příčiny havárie	5
1.2 Průběh havárie	7
2. Řešení havárie.....	9
2.2 Starý sarkofág	9
2.1 Výstavba	11
2.2 Uvnitř sarkofágu	13
2.3 Navržená ocelová stabilizační konstrukce	14
2.4 Horní biologický štít	14
2.5 Některé příčiny havarijního stavu sarkofágu:	15
3. Nový sarkofág.....	16
3.1 Popis konstrukce	17
3.2 Proces montáže	18
3.3 Umístění.....	18

Úvod

Černobylská jaderná elektrárna leží na řece Pripjat' 16 km jižně od hranic s Běloruskem, 2 km od města Pripjat', 18 km od města Černobyl a 115 km severně od hlavního města Ukrajiny Kyjeva. [1]



mapa [5]



Stavba elektrárny byla započata v roce 1970 zahájením stavby bloku reaktoru č.1. [1]

Stavba elektrárny byla započata v roce 1970 zahájením stavby bloku reaktoru č.1. Následovaly reaktor č.2 (1973), č.3 (1976), č.4 (1979) a č.5, 6 se nedostavěly. Všechny 4 reaktory byly typu RBMK s výkonem 1000 MW, tímto typem měli být osazeny i zbývající dva bloky 5 a 6.

Po nehodě na 4. bloku dodávala elektrárna elektřinu do sítě dále až do roku 2000. V tomto roce byl jako poslední odstaven reaktor č.3. Reaktor č. 1 byl odstaven v roce 1996 a č.2 byl odstaven jako první po rozsáhlém požáru v roce 1991. [1]

Dnes je již elektrárna odstavená, ale práce na demontáži a dekontaminaci budou trvat mnoho let. Zničený reaktor černobylského bloku číslo 4 se skrývá pod mohutným železobetonovým sarkofágem. Podle expertů je třeba tuto ochranu před radioaktivitou každých 40 let obnovit. V roce 2012 byla oficiálně zahájena stavba nového krytu, na který finančně přispívá i Evropská Unie. Ten původní je ve velmi špatném stavu a je potřeba jej nahradit. Nový sarkofág by měl být mnohokrát účinnější a měl by zajistit ochranu dlouhodobě. [1]

1. Havárie

K havárii na 4. reaktoru došlo brzy ráno v sobotu 26. dubna 1986. Šlo o nejhorší jadernou havárii v historii, další jadernou havárií takové velikosti označenou na mezinárodní stupnici INES stupněm 7 je havárie na JE Fukušima I v březnu 2011. Oficiálně uváděné počty obětí sahají od 31 mrtvých bezprostředně po havárii až po odhady desítek až stovek tisíc úmrtí na následky ozáření. (4)



Mezinárodní stupnice jaderných událostí [5]

1.1 Příčiny havárie

Příčin havárie bylo několik. První příčinou byla politická situace v bývalém Sovětském svazu. Stavba bloku 4 byla zahájena v roce 1979 a podle plánů měl být blok spuštěn na konci roku 1983. Výstavba se během let zpožďovala a průběžné zprávy upozorňovaly na značné chyby. Před samotným spuštěním reaktoru měly být provedeny testy jednotlivých částí a teprve po úspěšném testování měla být elektrárna spuštěna, na to ovšem nebylo možné z politických důvodů čekat, proto ředitel černobylské elektrárny Viktor Petrovič Brjuchanov podepsal oficiální dokument o úspěšném dokončení testování a následném zprovoznění 4. bloku a 20. prosince 1983 již 4. blok vyráběl elektřinu.

Jeden z testů, který měl být proveden ještě před uvedením do provozu, bylo ověření nouzového fungování turbíny. Ta by měla být schopna vytvářet setrvačností dostatek elektřiny ještě po dobu minimálně 45 s po výpadku přívodu elektřiny, než se spustí nouzové generátory. Tato elektřina je pro bezpečnost reaktoru životně důležitá, protože pohání chladicí čerpadla, regulační a havarijní tyče a také zásobuje elektřinou řídicí velín, odkud je blok s reaktorem řízen. Tuto zkoušku si vyžádal sovětský úřad pro atomovou energii a byla prováděna v noci z 25. na 26. dubna 1986.

V neposlední řadě k havárii přispěla žádost energetických závodů o odložení odstávky, aby nebyla přerušena výroba v továrnách. Díky tomu se experiment pozastavil a elektrárna pracovala již při polovičním výkonu 1600 MW, což bylo v rozporu s předpisy, dalším rozporem bylo odpojení bezpečnostního systému havarijního chlazení reaktoru. Střídali se směny a zaměstnanci nebyli dostatečně proškoleni. Mnoho technických parametrů reaktoru bylo považováno za vojenské tajemství a operátoři o nich neměli ponětí.

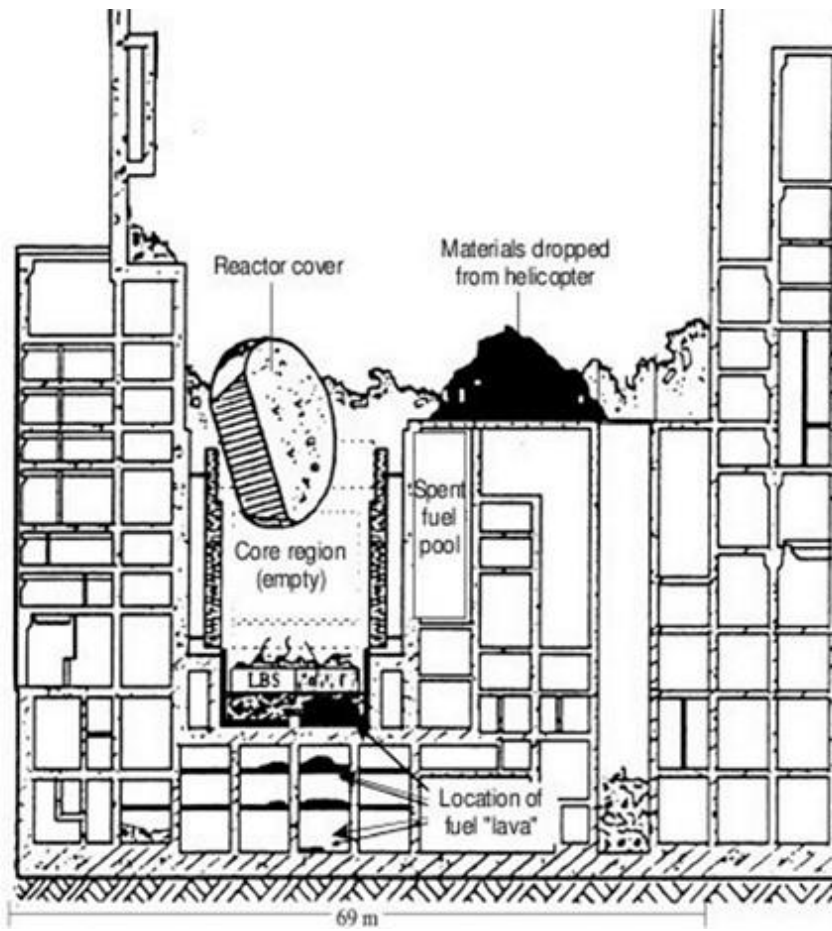
Další příčinou bylo vytažení regulačních sítí výš, než dovolovaly předpisy, protože výkon reaktoru klesl na pouhých 30 MW a experiment nebylo možné provést. Při zvýšení výkonu bylo rozhodnuto vypnutí hlavních turbín, ale setrvačnost byla krátká, tudíž nebyla čerpána voda a reaktor nebyl dostatečně chlazen, záložní zdroje nebyly spuštěny hned.

[4][5][6]

1.2 Průběh havárie

- snižování výkonu, odstavení prvního turbogenerátoru, odpojení systému havarijního chlazení reaktoru
- dispečer Ukrajinských energetických závodů žádá o odklad testu, reaktor zůstává v provozu na poloviční výkon, přichází odpolední směna nedostatečně informovaná o dění
- další snižování výkonu, příchod noční směny, ve které jsou někteří operátoři, kteří na zkoušku nejsou připraveni
- výkon se snižuje pod 700MW, zástupce hlavního inženýra Djatlov trvá na pokračování, i když výkon klesl pod bezpečný limit, zvýšení koncentrace xenonu 135, který se kvůli malému výkonu neštěpí
- vznik izotopu jódu, kvůli kterému by nebylo možné pokračovat → zvýšení výkonu vysouváním regulačních tyčí výše, než je přípustné
- zapnutí dalších 2 čerpadel přivádějících vodu pro chlazení reaktoru
- v 1:23:04 začíná experiment, přívod elektřiny do vodních pump je vypnut, snižuje se průtok vody, zvyšuje se teplota, voda se mění v páru, ta nadzvedává uzávěry palivových tyčí
- výkon roste, operátoři mačkají tlačítko „AZ5“ pro havarijní odstavení reaktoru
- zasouvání tyčí, ty jsou zdeformované tlakem páry, a navíc se nejdříve zasouvá uhlíková část tyčí, která pohlcuje méně neutronů
- zvýšení výkonu na přibližně desetinásobek běžného výkonu, tavení tyčí, poškození chladicího potrubí
- odtržení betonového krytu o tíze 1000 t kvůli přetlaku vodní páry, hoří asfaltová krytina, propad střechy, rozklad vody na kyslík a vodík
- další výbuch (palivo + vodík), únik radioaktivity

[4][5][6]



Řez 4. blokem [8]

2. Řešení havárie

2.2 Starý sarkofág

Sarkofág, který obklopuje blok 4 jaderné elektrárny v Černobylu, je obrovská železobetonová konstrukce, která byla v roce 1986 zkonstruována jako nouzové opatření pro zastavení uvolňování záření do atmosféry po výbuchu. Stavba byla pojata jako dočasná, než se najde účinnější a trvalejší řešení. Mezitím se stal sarkofág značně nestabilní a s množstvím konstrukčních chyb hrozí dokonce jeho zřícení. Přistoupilo se proto k mnohým opravám a ke zpevňování konstrukce.

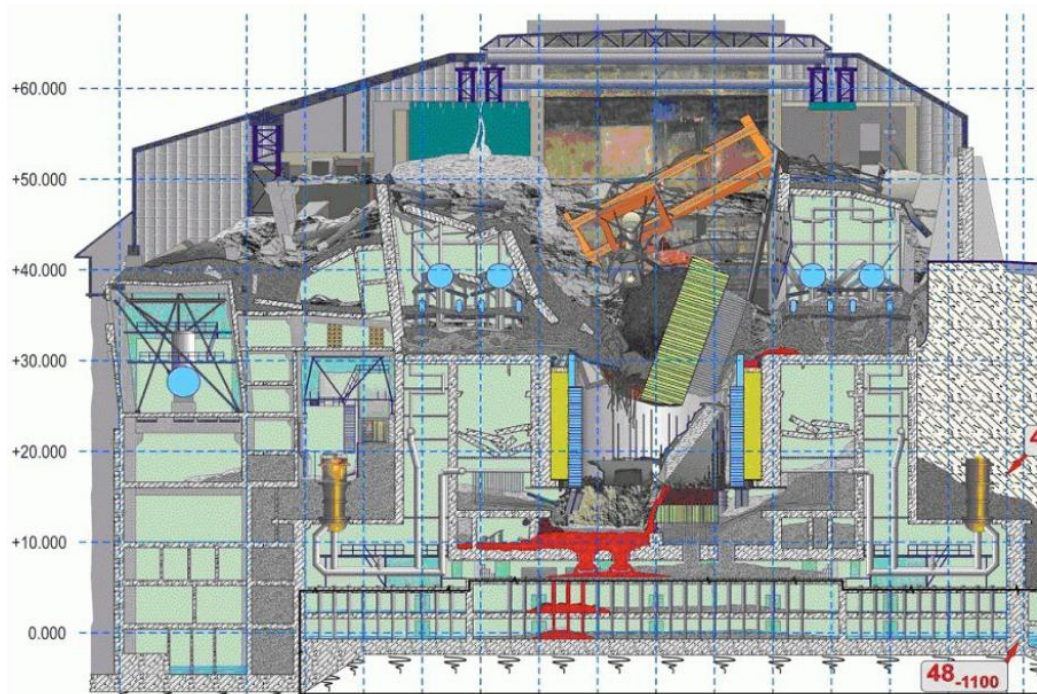
Odhaduje se, že v útrokách sarkofágu je 200 tun radioaktivního coria, 30 tun kontaminovaného prachu a 16 tun uranu a plutonia (zdroj Wikipedia). Pokud by došlo k jeho zřícení, vlivem vzdušného prachu a radioaktivních částí by se zamořilo značné území okolo elektrárny a radiace ze zničeného reaktoru by volně unikala ven do okolí. Byla by to katastrofa téměř srovnatelná s rokem 1986. [1]



Původní foto starého sarkofágu [2]

V roce 1996 bylo považováno za nemožné sarkofág opravit, jelikož hladiny radiace v něm dosahovaly až 10 000 röntgenů za hodinu (radiální záření ve městech je okolo 20-50

mikroröntgentů za hodinu, letální dávka je 500 röntgenů za 5 hodin). Bylo přijato rozhodnutí nahradit sarkofág novým sarkofágem. [2]



Průřez sarkofágu reaktoru 4 [2]



Reaktor po výbuchu [2]

2.1 Výstavba

Sarkofág byl zkonstruován za extrémně nebezpečných podmínek s velmi vysokou úrovní záření a těžkými časovými omezeními. Návrh sarkofágu začal 20. května 1986, o něco málo přes tři týdny po katastrofě. Stavba trvala 206 dní, od června do konce listopadu téhož roku. Nejprve bylo zapotřebí postavit pod reaktorovou desku chlazení, aby se předešlo styku horkého jaderného paliva se základy, které by žár nevydržely. Čtyři stovky horníků bylo vyzváno, aby vykopali požadovaný tunel pod reaktor, a 24. června byl na místě potřebný tunel dlouhý 168 metrů. [2]



Výstavba [2]

Během výstavby bylo použito více než 400 000 m³ betonu a 7 300 tun ocelové konstrukce, přičemž budova nakonec uzavřela 740 000 m³ silně kontaminovaných nečistot a půdy uvnitř. Vysoká úroveň záření způsobila, že pro člověka je nesmírně nebezpečné vykonávat práci na sarkofágu, proto byli použiti roboti pro spojování a svařování, pokud to bylo možné. Extrémní podmínky znemožnily úplné utěsnění švů sarkofágu. [3]

Sarkofág má více než 60 otvorů, které umožňují pozorování vnitřku jádra. V místech, kde byla konstrukce zabudována do větracích šachet, umožnila uvnitř nějakou konvekci. Byly zavedeny filtrační systémy, aby se zabránilo úniku radioaktivního materiálu těmito otvory. [2]

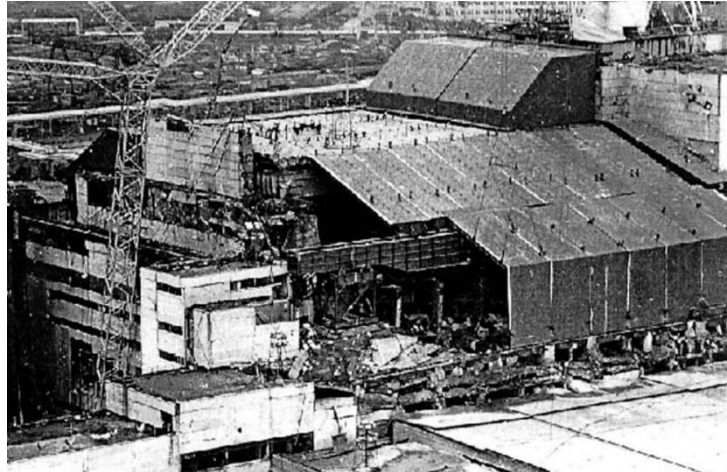
Stavební proces se skládal z osmi fází: [1]

1. vyčištění a betonování plochy kolem jednotky reaktoru 4
2. výstavba počátečních železobetonových ochranných stěn po obvodu
3. konstrukce dělicích stěn mezi bloky 3 a 4
4. kaskádová konstrukce stěn
5. pokrytí turbínové haly
6. výstavba výškové opěrné zdi
7. montáž podpěr a montáž krytu reaktoru
8. instalace ventilačního systému.

Stávající objekt je primárně podporován poškozenými zbytky budov reaktoru jednotky 4, které jsou z velké části považovány za strukturálně nevhodné v důsledku výbušných sil způsobených havárií. Tři hlavní konstrukční prvky podporují střechu krytu objektů. Dva nosníky, obvykle označované jako B-1 a B-2, probíhají ve směru východ-západ a podporují střešní nosníky a panely. Třetí, masivnější člen, Mammoth Beam, překlenuje největší vzdálenost přes střechu od východu k západu a pomáhá při podpoře střešních nosníků a panelů. Střecha samotného přístřešku se skládá z ocelových trubek o průměru 1 m položených horizontálně od severu na jih a ocelových panelů, které spočívají v úhlu také severo-jihním směrem. [2]

Jižní stěna objektového úkrytu je tvořena ocelovými panely střechy, které tvoří úhel přibližně 15 stupňů od vertikální. Východní stěnu sarkofágu tvoří samotná budova reaktoru a severní stěna kombinací budovy reaktoru a betonových segmentů. Západní stěna je zhotovena z velkých betonových úseků vyztužených opěrami. Složitost úseků západní zdi vyžadovala jejich výstavbu mimo areál; pak byly zvednuty na místě dálkově ovládaným věžovým

jeřábem. Právě tyto opěrné úseky objektového úkrytu jsou nejčastěji rozpoznávány ve fotografiích sarkofágu. [2]



Výstavba ochranného krytu [2]

2.2 Uvnitř sarkofágu

22. prosince 1988 sovětští vědci oznámili, že trvanlivost sarkofágu bude jen 20-30 let, než bude vyžadovat restorativní údržbu. Železobetonový sarkofág nikdy neměl být trvalou strukturou kontejnmentu. Jeho trvalé zhoršení zvýšilo riziko úniku jeho radioaktivního obsahu. V roce 2010 bylo zjištěno, že voda, která protéká střechou sarkofágu, se stává radioaktivně kontaminována před tím, než prosákne přes podlahu reaktoru do půdy. [2]



Vnitřek sarkofágu [2]

2.3 Navržená ocelová stabilizační konstrukce

Navržená stabilizační ocelová konstrukce (DSSS) je žlutá ocelová konstrukce, která může být viděna u sarkofágu. Je 63 metrů vysoká a má řadu konzol, které procházejí západní opěrnou stěnou a jsou určeny k stabilizaci sarkofágu. Tento DSSS byl zaveden, protože pokud by se stěna budovy reaktoru nebo střecha úkrytu zhroutila, pak by do atmosféry uniklo velké množství radioaktivního prachu a částic. V prosinci 2006 byla prodloužena "navržená stabilizační ocelová konstrukce" (DSSS), a až 50 % zatížení střechy (přibližně 400 tun) bylo převedeno z osy 50 stěn na DSSS. [3]



Nová ocelová stabilizační konstrukce [2]

2.4 Horní biologický štít

Další hrozbou je betonová deska, která tvořila "horní biologický štít" (UBS), umístěný nad reaktorem před nehodou. Tato betonová deska vyhořela vlivem výbuchu v jádře reaktoru. Poloha UBS je považována za neodmyslitelně nebezpečnou, neboť pouze nečistoty ho drží v téměř svislé poloze. Pokud by se UBS pohyboval, narušil by radioaktivní prach, což by vedlo k uvolnění materiálu a mohlo by to poškodit samotný sarkofág. UBS je kruh o průměru 15 metrů, o hmotnosti 1000 tun a skládající se z 2000 kostek, každá umístěná nad palivovým kanálem. [3]

2.5 Některé příčiny havarijního stavu sarkofágu:

Sarkofág byl vybudován na původních základech nosných obvodových zdí a zbylých konstrukcích haly reaktoru 4 a sousední budovy. Vzhledem tomu že sarkofág váží mnohonásobně více, než je nosnost těchto zdí, je tu stále vysoké riziko jejich zřícení.

Z důvodu vysoké radioaktivity probíhala výstavba (pokud to bylo technicky možné) pomocí dálkově ovládaných robotů, což také nepřispělo ke stabilitě celkové konstrukce. [1]

Dalším nepřítelem je koroze. Jednak je to koroze vnější, vznikající povětrnostními podmínkami, a koroze vnitřní. Do sarkofágu byly instalovány filtrační, ventilační, a především vodní systémy zvlhčující reaktor kvůli prašnosti, která by díky netěsnostem na sarkofágu mohla unikat ven. Voda také slouží i pro ochlazování reaktoru, který stále produkuje teplo. Nadměrná vlhkost a silná radiace způsobují proto značnou erozi. Vzniklé netěsnosti se odhadují až na stovky metrů čtverečných. [1]

3. Nový sarkofág

Vzhledem k tomu, že původní sarkofág byl postavený jako dočasný, bylo potřeba nalézt trvalejší řešení ochrany. Dne 10.08.2007 byla proto podepsána smlouva na zakázku za 935 milionů eur na vybudování nového obloukového sarkofágu s plánovanou životností až 100 let. [1]

Finančně na projekt Ukrajině přispělo 29 zemí, mezi něž přispěla také Česká republika (2,6 miliónu eur), Evropská Unie, USA, nebo třeba také Japonsko.

Oficiální zahájení stavby bylo v roce 2012, ale to byly víceméně pouze formality, protože samotné přípravy a stavba byly započaty již v roce 2010. [1]



Nový sarkofág [1]

Datum ukončení stavby bylo plánováno na 15. října 2015, ale vzhledem k objevujícím se problémům s financováním a rostoucími náklady se s dokončením nepočítá dříve, než v roce 2017. Nový sarkofág by měl na délku měřit 257 metrů, šířku 164 m a výška by měla dosahovat 110 m. Hmotnost by pak měla být až 29 tisíc tun.

Samotná stavba probíhá asi 250 m daleko od zničeného 4 bloku elektrárny, aby se snížil dopad radioaktivního záření na dělníky. Po dokončení prací, bude nový sarkofág přemístěn nad 4. reaktor, který by měl celý hermeticky uzavřít. Poté začnou práce na demontáži původního sarkofágu a likvidování trosk 4. reaktoru. [1]

3.1 Popis konstrukce

Body pro návrh konstrukce:

- Musí podporovat váhu oblouků nového sarkofágu.
- Musí umožňovat pojezd po železniční trati, po které může být nový sarkofág přemístěn k 180 metrů vzdálenému bloku 4.
- Musí minimalizovat množství kopání a řezání do horních vrstev země, protože horní zemina je silně kontaminována jaderným materiálem z katastrofy.

Místo pro nový sarkofág je mírně nakloněné, v nadmořské výšce od +117,5 m na východní straně až po západní stranu (+144 m). Návrh musí zohledňovat tento rozdíl bez rozsáhlého vyrovnávání. [1]



Odhalená nosná konstrukce nového sarkofágu [1]

3.2 Proces montáže

Proces výstavby byl sestaven v následujících krocích: [1]

1. Stabilizace starého sarkofágu objektu, aby se zabránilo kolapsu během výstavby.
2. Výkop a stavba základů.
3. Sestavení prvního a druhého oblouku, instalace východní stěny na oblouk 1.
4. Následné posunutí celé konstrukce a přidání oblouků.
5. Instalace jeřábů a velkých zařízení pro údržbu.
6. Instalace západní stěny.
7. Konečný posun na jednotku 4 (29. listopadu 2016).
8. Dekonstrukce fragmentace, dekontaminace pomocných budov

Tento proces montáže byl považován za výhodný, protože využil navrženou mobilitu konstrukce pro maximalizaci vzdálenosti mezi pracovníky a budovou reaktoru, čímž se minimalizovalo jejich vystavení působení záření.

3.3 Umístění

Konstrukce byla postavena 180 metrů západně od jednotky čtyři. Vlastní posunutí konstrukce podél základových kolejnic bylo obtížné. Systém používaný ve stavbě NSC odvozený z civilních spouštěcích mostů a mostových konzolových metod.

Zpočátku byly zvažovány dvě možnosti pro pohyb konstrukce: hydraulické zdviháky, které posunuly konstrukci dopředu, nebo táhly konstrukci pomocí velkých ocelových lan. První možnost by vyžadovala přemístění hydraulických zdvihů po každém zatlačení. Tento proces přemístění by vyžadoval větší interakci pracovníků se systémem a vyšší pracovní expozici záření. Druhá možnost byla zpočátku zvolena, protože by vystavila pracovníky nižší dávce radiace a posunula by strukturu do své konečné polohy za méně než 24 hodin. Stavba byla však přemístěna pomocí hydraulických zdviháků, přičemž pohyb 327 metrů začíná dne 14. listopadu 2016 a končí 29. listopadu.

4. Závěr

Černobylská havárie byla ojedinělou událostí. Poprvé v historii komerční výroby elektrické energie z jádra nastala při havárii úmrtí přímo způsobená radiací. Pozdější havárie v přepracovacím závodě v japonské Tokaimuře 30. září 1999 vyústila ve smrt jednoho pracovníka na ozáření až 22. prosince téhož roku. Havárie elektrárny A1 v Jaslovských Bohunicích v roce 1976 měla sice dvě oběti, ale ty byly udušeny uniklým oxidem uhličitým, nikoliv radioaktivitou. Při druhé havárii však k určitému úniku radioaktivity došlo, bezpečnostní vrata hlavního bloku elektrárny se automaticky uzavřela 22. 2. 1977 a již se nikdy neotevřela. Likvidace elektrárny A1 se provádí teprve v současné době.

Počtem zabitých je tato havárie srovnatelná s některými haváriemi přehrad. V Evropě bylo největší havárií přehrady zabito přibližně 2 000 lidí vlnou vzniklou po sesuvu půdy do přehrady Vajont v Itálii 9. října 1963. Největší neštěstí se odehrálo v Číně v roce 1975 na řece Jang-c', kde po protržení několika hrází zahynulo během jednoho dne 80 000–200 000 lidí (přesná čísla byla čínskými úřady utajena).

Čínské přehrady mohou posloužit také pro porovnání počtu evakuovaných – jen kvůli stavbě přehrady Tři soutěsky bylo třeba přesídlit asi 700 000 lidí.

Srovnání lze provést i s výrobou elektřiny z uhlí: Každý rok zahynou ve světě při důlních haváriích desítky až stovky horníků. Před zavedením různých technologií na čištění dýmu kyselá dešť a spad mírně radioaktivního popílku jen u nás zničily tisíce čtverečních kilometrů lesů a zasáhly s účinkem nemocí a dřívější smrti statisíce lidí. [4]

5. Seznam citací

Seznam citovaných prací

- [1] *Chernobylzone* [online]. [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <http://chernobylzone.cz/category/cernobylska-zona/>
- [2] *Chernobylgallery* [online]. [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <http://chernobylgallery.com/chernobyl-disaster/sarcophagus/>
- [3] *Wikipedia* EN [online]. [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_Nuclear_Power_Plant_sarcophagus
- [4] *Wikipedia* CS [online]. [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cernobylsk%C3%A1_hav%C3%A1rie
- [5] *Wikipedia* CS [online]. [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Mezin%C3%A1rodn%C3%AD_stupnice_jadern%C3%BDch_ud%C3%A1lost%C3%AD
- [6] *Chernobylzone* [online]. [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <http://chernobylzone.cz/cernobylsky-experiment-a-prubeh-havarie/>
- [7] *Ceskatelevize* [online]. [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/ct24/svet/1765772-co-se-delo-v-cernobylu-pred-30-lety-havarie-minutu-po-minute>
- [8] *Technet.idnes.cz* [online]. [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: https://technet.idnes.cz/cernobyl-havarie-0kx-/tec_technika.aspx?c=A160425_152556_tec_technika_mla