

Dopad havárií jadrových elektrární na vývoj jadrovej energetiky na Slovensku a vo svete

¹Zuzana GADUŠOVÁ, ²Dušan MEDVEĎ

^{1,2}Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Slovenská republika

¹zuzana.gadusova.2@student.tuke.sk, ²dusan.medved@tuke.sk

Abstrakt — Článok pojednáva o jednotlivých haváriách na jadrových zariadeniach a ich dopade na budúcnosť jadrovej energetiky. Tento príspevok popisuje aktuálny stav jadrových elektrární na Slovensku. Taktiež rieši uzatváranie JE v jednotlivých krajinách a použitie jadra v boji proti klimatickým zmenám.

Kľúčové slová — jadrová elektrárňa, jadrová energia, havária, vývoj jadrovej energetiky

I. SÚČASNÝ STAV JADROVEJ ENERGETIKY NA SLOVENSKU

K dnešnému dňu sa na Slovensku nachádzajú dve jadrové elektrárne. Sú nimi JE Mochovce a JE Jaslovské Bohunice.

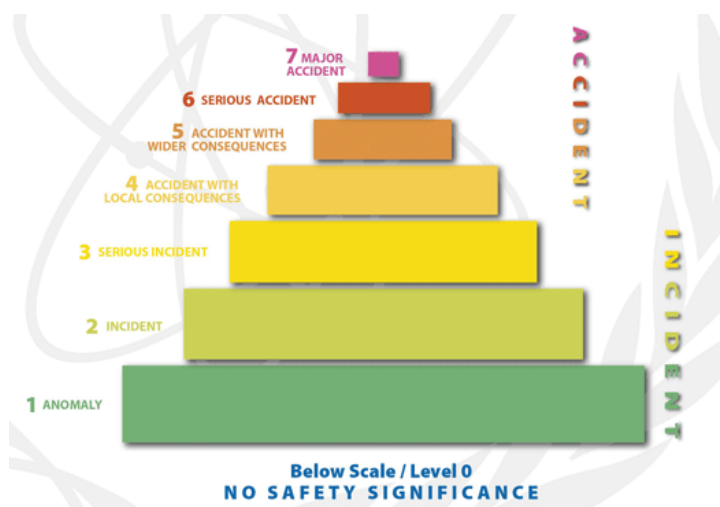
Jadrové elektrárne Mochovce sa nachádzajú na juhu Slovenska. Disponujú štyrmi blokmi s tlakovodnými reaktormi typu VVER-440/V-213, každý s výkonom 470 MW. Tretí a štvrtý blok by mali byť uvedené do prevádzky koncom roka 2021 [1].

V elektrárňach Jaslovské Bohunice sa elektrická energia vyrába v dvoch blokoch s tlakovodnými reaktormi typu VVER-440/V-213, ktoré boli k energetickej sieti postupne pripojené v rokoch 1984 a 1985. Inštalovaný výkon reaktorov je 2×505 MW. Ako chladivo a moderátor je použitá demineralizovaná voda [2].

II. HAVÁRIE NA JADROVÝCH ZARIADENIACH

A. Stupnica INES

Jednotlivú závažnosť jadrových havárií popisuje medzinárodná stupnica hodnotenia závažnosti jadrových a radiačných udalostí (INES). Má osem stupňov závažnosti (0÷7) [3].



Obr. 1 Stupnica INES

B. Havárie jadrových zariadení

Three Mile Island (28. marec 1979)

Príčina: Zlyhanie odľahčovacieho ventilu v kombinácii s chybou operátora pri interpretácii podmienok po odstavení havarijného chladenia reaktora viedli k strate chladiva v reaktore, k prehriatu aktívnej zóny a k čiastkovému taveniu paliva.

Následky: Ohraničené úniky rádioaktivity do vonkajšieho prostredia. Trvalá strata zariadenia, prerušenie výstavby a licencovania ďalších blokov, faktor prispievajúci k zrušeniu objednávok na mnoho ďalších nových JE.

Hlavné výstupy: Dôkladné zmeny v príprave operátorov, v predpisoch pre riadenie havárií, v zohľadnení ľudského faktora, v projekte blokových dozorní, v systéme kontroly a riadenia, vo vykonávaní jadrového dozoru a v havarijnom plánovaní.

Černobyl (26. apríl 1986)

Príčiny: Chyby projektu aktívnej zóny reaktorov RBMK (vrátane kladného dutinového koeficienta), chyby operátorov pri vykonávaní skúšky v oblasti mimo projektovej bázy s blokovanými bezpečnostnými systémami, chýbajúci kontajnement, nedostatočná havarijná odozva.

Následky: Usmrtenie pracovníkov obsluhy v dôsledku radiačného ožiarenia pri požiari, zničenie zariadenia a jeho uzatvorenie do sarkofágu, neriadené úniky a kontaminácia vonkajšieho prostredia, ktorá zasiahla väčšinu Európy a Bieloruska, evakuácia a presídlenie viac ako 336 000 obyvateľov z kontaminovaných oblastí.

Hlavné výstupy: Projektové zmeny reaktorov RBMK (Kanálový varný reaktor s uránovo-grafitovým moderátorom), pre všetky projekty jadrových zariadení, vrátane projektových princípov pre zariadenia na odstavenie reaktora a kontajnement. Ustanovenie nezávislých dozorných orgánov nad jadrovou bezpečnosťou v niektorých krajinách.

Fukushima Daiichi (začiatok 11. marec 2011)

Príčiny (blok č.1 až č.3): Podmorské zemetrasenie s magnitúdou 9 vybudilo cunami, ktoré zaplavilo elektrárňu a malo za následok úplnú stratu elektrického napájania (blackout), nedostatočná ochrana proti cunami v projektovej báze.

Následky (blok č.1 až č.3): Tavenie aktívnej zóny na 3 blokoch, výbuchy vodíka, poškodenie tlakovej nádoby reaktora a primárneho kontajnementa, veľký neriadený únik rádioaktivity do vonkajšieho prostredia, havarijná evakuácia asi 110 000 obyvateľov, zničené zariadenia.

Hlavné výstupy (blok č.1 až č.3): Mnohonásobné prehodnocovanie v priemyselnom odvetví, vládami a dozornými orgánmi, zvyšovanie bezpečnosti v širokom zábere v celosvetovom meradle, ktoré sa prejavuje v návrhoch na nové základy jadrovej bezpečnosti.

Príčiny (zvyšné bloky): Podmorské zemetrasenie s magnitúdou 9, vybudilo cunami, ktoré viedlo k strate napájania z vonkajšej siete a s rozdielnou úrovňou zaplavili a poškodili zariadenia na 5. a 6. bloku JE Fukushima Daiichi, na 1. až 4. bloku JE Fukushima Daiini, a na 2. bloku JE Tokai a na blokoch č.1 až č.3 JE Oginava.

Následky (zvyšné bloky): Všetkých 10 blokov JE zvládli udalosť, ale s čiastkovou stratou havarijných kapacít a bezpečnostných rezerv, úplná obnova bola sťažená porušením infraštruktúry v regióne.

Hlavné výstupy (zvyšné bloky): Rozsiahle prehodnocovanie, ako pri blokoch č.1 až č.3. Ďalšia príležitosť využiť poučenie z havárie. Všetky JE v Japonsku sa nachádzajú v studenom odstavenom stave v dôsledku nevyriešeného rozhodovania vlády týkajúceho sa povolenia na spustenie [4].

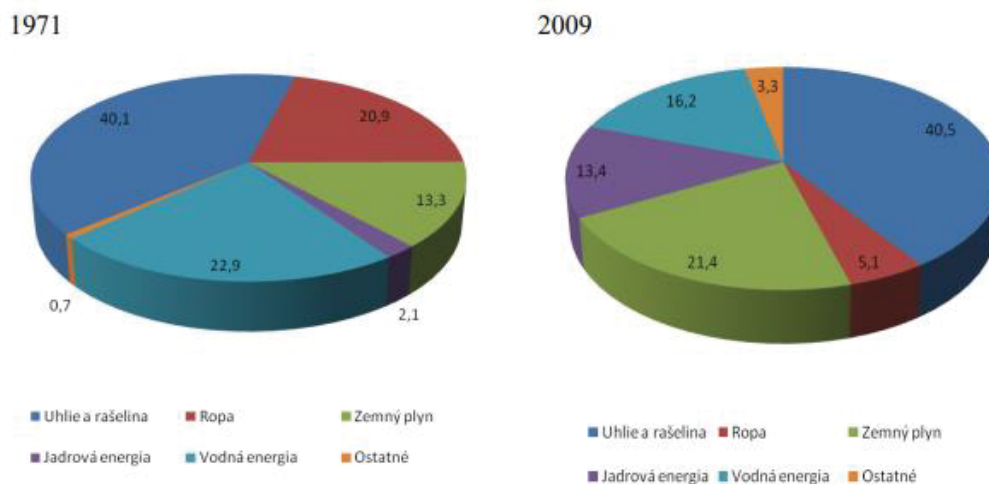
III. UZATVÁRANIE JADROVÝCH ZARIADENÍ

Zaujímavým príkladom pre uzatváranie jadrových zariadení je Nemecko. Vláda Angely Merkelovej, ktorá predtým presadzovala jadrovú energiu, rozhodla sa v dôsledku havárie Fukushima Daiichi v roku 2011 okamžite uzavrieť osem najstarších JE v Nemecku a zatvoriť ďalších 9 do roku 2022 [4]. Aká je však cena za tento krok? Emisie a úmrtia. Prvá závažná skutočnosť bola, že spomínané zrušené jadrové elektrárne boli nahradené hlavne elektrárnami uhoľnými. Prirodzene, ekologickým riešením sa to nazvať nedá. Ročne sa tak počet vypustených emisií oxidu uhličitého zvýšil asi o 5 %. Väčšie spaľovanie uhlia zároveň viedlo k väčšiemu lokálnemu znečisteniu ovzdušia, čo má podiel aj na väčšej úmrtnosti ľudí. Celková cena následku zrušenia jadrových elektrární je tiež alarmujúca (cca 10,9 miliardy eur) ročne. Ide o ďaleko vyššiu sumu, akú predtým krajina utrácala na udržiavanie jadrových elektrární. Tieto zistenia jednoznačne hovoria v prospech JE, berúc do úvahy aj potenciálne nebezpečie

súvisiace s nehodou, alebo skladovaním jadrového odpadu [5].

IV. PRODUKCIA ENERGIE VO SVETE

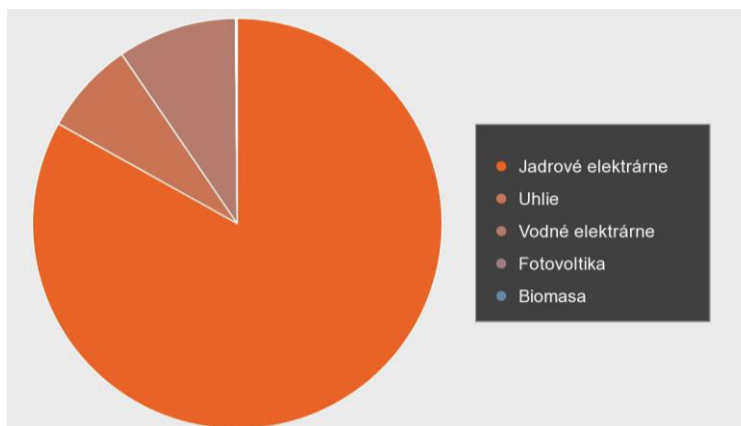
V súčasnosti sa viac ako 85 % celosvetovo spotrebovanej energie získava z fosílnych palív. Tento podiel je skoro konštantný od sedemdesiatych rokov minulého storočia. Vysoké investičné náklady jadrových a obnoviteľných zdrojov spôsobili, že návratnosť investícií do týchto zdrojov je buď neistá, alebo príliš dlhá, aby mohla byť atraktívna pre súkromný sektor [6].



Obr. 2 Podiel energetických zdrojov na výrobe elektrickej energie vo svete za rok 1971 a rok 2009

V. PRODUKCIA ENERGIE NA SLOVENSKU

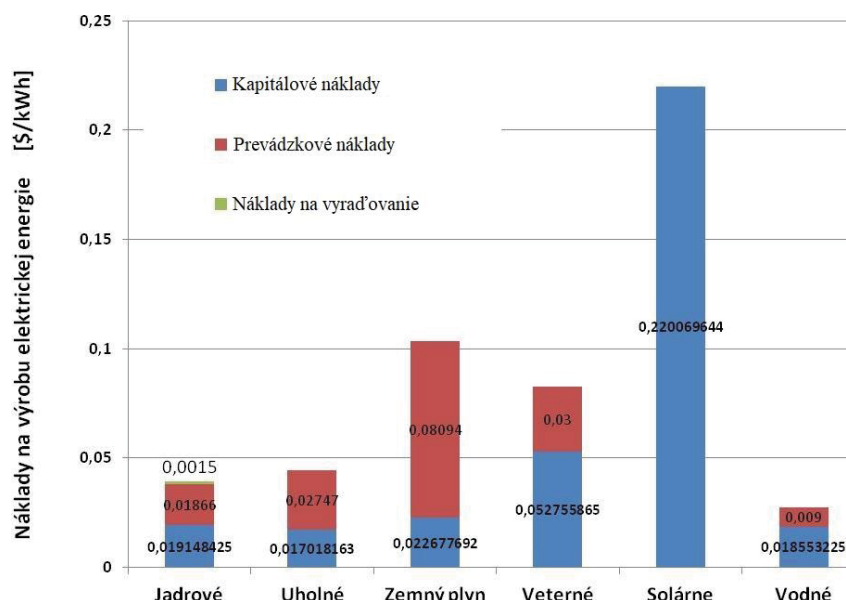
Slovenské elektrárne v roku 2019 celkovo vyrobili 18 865 GWh elektriny. Čistá dodávka elektriny Slovenských elektrární dosiahla 17 097 GWh. Jadrové elektrárne sa podieľali na výrobe elektrickej energie množstvom 83,1 %, uhoľné elektrárne 7,4 % a vodné elektrárne 9,4 % [7].



Obr. 3 Podiel energetických zdrojov na výrobe elektrickej energie na Slovensku za rok 2019

VI. NÁKLADY NA VÝROBU ELEKTRICKEJ ENERGIE

Obnoviteľné zdroje energie ponúkajú istý potenciál na výrobu elektrickej energie. Je pravda, že využitie ich potenciálu v súčasnosti nedosahuje maximálnu hodnotu a sú predpoklady na ďalšie zvýšenie využitia do budúcnosti, ale v dôsledku ich značnej závislosti od zemepisnej polohy a od daných poveternostných podmienok, je pri súčasných technológiách ťažko predstaviteľné, aby dokázali pokryť viac ako 90 % dopytu po elektrickej energii, ako to predpokladá jeden z uvedených scenárov Európskej komisie. Výhodou jadrových elektrární oproti obnoviteľným zdrojom, ktoré sú charakterizované prerušovaným a menej stabilným priebehom dodávky elektrickej energie, je ich dlhodobá stabilná prevádzka v základnom pásme diagramu zaťaženia. Jadrová energia je jediný energetický zdroj neprodukujúci CO₂, ktorý pri súčasných technológiách dokáže byť nasadený vo veľkom rozsahu a poskytuje značný priestor pre ďalší rozvoj do budúcnosti. Jedným z najdôležitejších faktov pri výbere energetických zdrojov je cena výroby elektrickej energie pre daný zdroj [8].



Obr. 4 Porovnanie energetických zdrojov na základe ceny výroby elektrickej energie

VII. POUŽITIE JADRA V BOJI PROTI KLIMATICKÝM ZMENÁM

A. Jadrová energia = Čistá energia?

Jadrová energetika je v podstate bez emisií. Ako príklad, produkcia CO₂ prepočítaná na 1 kWh produkovanej energie je asi 50-krát nižšia, než pri spaľovaní uhlia. Tradične je zelený nesúhlas s jadrovou energetikou zakorenený predovšetkým v strachu z radiácie uvoľnenej pri havárii reaktora, alebo z rádioaktívneho odpadu z úložísk. Dnes viaceré krajiny budujú hĺbkové podzemné úložiská, kde môžu bezpečne uskladniť vysoko-rádioaktívny odpad.

B. Budúcnosť jadrovej energie

Elektrina z jadra nikdy lacná nebola a dnes zápasí o konkurencieschopnosť čisto na základe ekonomických ukazovateľov v porovnaní s elektrinou vyrobenou spaľovaním zemného plynu. Avšak príbeh vyznieva úplne inak, ak vezmeme do úvahy aj emisie skleníkových plynov, ako náklad sám o sebe. V priemere za dobu životnosti elektrárne má spaľovanie uhlia za následok 979 ton oxidu uhličitého (na 1 GWh) uvoľneného do atmosféry. Z plynu sa uvoľní 550 ton. Hodnota pre elektrinu z jadra je 32 ton [9].

C. Obnoviteľné zdroje alebo jadro

Na základe analýzy skúseností mnohých krajín vyplýva, že to, čo môže trvať celé storočie s obnoviteľnými zdrojmi, by mohlo byť vykonané za 20 rokov s jadrovou energiou. Jadrová energia nevypúšťa do ovzdušia uhlík, je vysoko koncentrovaná, čo minimalizuje vplyv na životné prostredie z ťažby odpadu a funguje 24 hodín denne, bez potreby batérií. Najdôležitejšie je, že sa môže rýchlo vystupňovať. Jadro tiež vytvára oveľa menej odpadu ako iné zdroje energie, vrátane obnoviteľných zdrojov energie. Vyhoené palivo z jadrovej výroby elektrickej energie spotrebovanej za života priemerným Američanom by sa vmestilo do plechovky od koly. Jadrová energia nemusí byť ani príliš drahá. Existujú jadrové elektrárne v USA, ktoré vytvárajú jednu pätinu národnej elektrickej energie, produkujú menej nákladnú energiu ako uhlie alebo plyn. V Južnej Kórei elektrina z jadrovej energie stojí menej ako 4 centy/kWh, čo je lacnejšie ako elektrina z akéhokoľvek iného zdroja [10].

VIII. ZÁVER

Tento príspevok sa zaoberal dopadom havárií jadrových elektrární na vývoj jadrovej energetiky na Slovensku a vo svete. Z príspevku vyplýva, že aj napriek skutočnosti vážnosti jednotlivých havarijných udalostí, je jadrová energia pilierom pri energetickom mixe v jednotlivých krajinách a nedá sa 100 %-ne nahradiť obnoviteľnými zdrojmi energií.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a SAV podporenej grantom VEGA 1/0372/18.

LITERATÚRA

- [1] SEAS, „*AE Mochovce*“ [online] [cit. 01-05-2020] Dostupné na internete: < <https://www.seas.sk/ae-mochovce> >
- [2] SEAS, „*AE Jaslovské Bohunice*“ [online] [cit. 01-05-2020], Dostupné na internete: < <https://www.seas.sk/ae-bohunice> >
- [3] INES, „*Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných a radiačních událostí*“ [online] [cit. 08-05-2020], Dostupné na: < https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/INES-2008_cz_překlad.pdf >
- [4] VUJE, a.s., „*Významné havárie na jadrove-energetických zariadeniach*“
- [5] SNUS, „*Nemecké energetické spoločnosti varujú, že odstavenie jadra povedie k chýbajúcej energii*“ [Online] [cit. 11-05-2020] Dostupné na internete: <<https://www.nuclear.sk/nemecke-energeticke-spolocnosti-varuju-ze-odstavenie-jadra-povedie-k-chybajucej-energii/>>
- [6] SNUS, „*Cena zrušenia jadrových elektrární v Nemecku? Miliardy ročne, zvýšenie emisií aj počtu úmrtí, hovorí ŠTÚDIA*“ [Online], Dostupné na internete: < <https://denniks.sk/21824/cena-zrusenia-jadrovych-elektrarni-v-nemecku-miliardy-ročne-zvyšenie-emisii-aj-počtu-úmrti-hovori-studia/> >
- [7] Haščík, J., „*Prečo vyrábať elektrinu v jadrovej elektrárni?*“ [Online] [cit. 08-05-2020] Dostupné na internete: < http://www.dukonline.sk/tmp/asset_cache/link/0000018326/4.%20predn%C3%A1%C5%A1ka.pdf >
- [8] SEAS, „*Atómová elektrárň*“ [Online] [cit. 01-05-2020] Dostupné na internete: < <https://www.seas.sk/atomova-jadrova-elektraren> >
- [9] SNUS, „*Hans Blix: Chcete zastaviť klimatickú zmenu? Tak je čas vrátiť sa k starej láske: k jadrovej energii*“ [Online] [cit. 11-05-2020] Dostupné na internete < <https://www.nuclear.sk/hans-blix-chcete-zastavit-klimaticku-zmenu-tak-je-cas-vratit-sa-k-starej-laske-k-jadrovej-energii/?fbclid=IwAR3SUWuHMGloQ5akL4xRmmiiUAIOivbiiI5O7nuB9szl8vEMjD1jcRx8InE> >
- [10] SNUS, „*Boj proti klimatickým zmenám potrebuje 100-200 jadrových elektrární za rok*“ [Online] [cit. 11-05-2020] Dostupné na internete: < https://www.nuclear.sk/boj-proti-klimatickym-zmenam-potrebuje-100-200-jadrovych-elektrarni-za-rok/?fbclid=IwAR0IMxbmG8x4BiIAfjVlnOlrJhajoVHq1eFAqvH1IYOgP_6YaTg36ikU-dY >