

**Stredná priemyselná škola Jozefa Murgaša
v Banskej Bystrici**

**Jadrová elektráreň – hrozba pre moju budúcnosť alebo čistý
a spoľahlivý zdroj energie**

2026

**Michal Jursík
Jakub Oravec**

Obsah

Úvod

Teoretická časť

1 Súčasný stav riešenia problematiky jadrovej energie v ére dekarbonizácie.....	5
2 Teoretické východiská.....	6
2.1 Princíp fungovania jadrového reaktora.....	6
2.2 Bezpečnosť jadrových reaktorov.....	6
2.3 Udržateľnosť jadrovej energie.....	6

Empirická časť

1 Výskum.....	9
1.1 Metodika a proces výskumu.....	9
1.2 Cieľ výskumu.....	9
1.3 Výskumné hypotézy.....	9
1.4 Výskumná vzorka a zber dát.....	9
1.5 Metodika spracovania získaných údajov pred a po použití modelu simulátora jadrovej elektrárne.....	10
1.6 Štruktúra výskumného nástroja.....	10
2 Vyhodnotenie výskumu v oblasti jadrovej energetiky.....	11
2.1 Demografické zloženie respondentov a úroveň poznatkov.....	11
2.2 Vzdialenosť od jadrovej elektrárne.....	11
2.3 Hodnotenie vedomostí a znalostí respondentov v oblasti jadrovej energetiky...	11
2.4 Zdroje ovplyvňujúce názory respondentov.....	11
2.5 Vnímanie bezpečnosti modernej elektrárne z pohľadu respondentov.....	12
2.6 Najväčšie obavy respondentov v súvislosti s využívaním jadrovej energie.....	12
2.7 Vedomostný test – mýty verzus realita.....	12
2.7.1 Pôvod „bieleho dymu“ z chladiacich veží.....	12
2.7.2 Možnosť výbuchu reaktora ako atómovej bomby.....	12
2.7.3 Príčiny zlyhania reaktorov v minulosti.....	12
2.7.4 Forma najnebezpečnejšieho jadrového odpadu.....	13
2.8 Hodnotenie prínosu modelu jadrovej elektrárne ako didaktickej pomôcky v edukácii.....	13
2.8.1 Zmena postojov respondentov po oboznámení sa s modelom.....	13
2.8.2 Využitie interaktívnych modelov v školách.....	13
2.8.3 Zvýšenie pocitu bezpečia v oblasti využívania jadrovej energetiky v súvislosti so začlenením simulátora do vzdelávacieho procesu.....	13
3 Zovšeobecnenie výsledkov a odporúčania v rámci edukačnej činnosti.....	14

Praktická časť

1 Simulátor jadrovej elektrárne.....	16
1.1 Koncept a dizajnová filozofia.....	16
1.2 Mechanický dizajn.....	18
1.3 Senzory a meracie systémy.....	19
1.4 Riadiaci systém a používateľské rozhranie.....	20
1.5 Simulácia havarijných scenárov.....	21
1.5.1 Chyba operátora.....	21
1.5.2 Zaseknuté regulačné tyče.....	22

1.5.3	Porucha chladiacej pumpy.....	22
1.5.4	Výpadok elektriny.....	23
1.5.5	Zhrnutie.....	24
2	Použitie modelu ako didaktickej pomôcky vo vyučovacom procese.....	25
3	Prínos modelu pre spoločenskú prax.....	26
4	Finančný rozpočet.....	27
4.1	Jeden model, mobilná prezentácia.....	27
4.2	Sériová výroba modelu a jeho dlhodobá distribúcia.....	27
4.3	Porovnanie.....	28
Záver.....		29
Zoznam použitej literatúry		
Prílohy		

Úvod

V súčasnosti čelí svet potrebe transformácie energetiky pre dosiahnutie uhlíkovej neutrality. Podľa UNECE je jadrová energia kľúčová vďaka jednej z najnižších úrovní emisií [7], pričom IAEA zdôrazňuje, že jadrová bezpečnosť zostáva pri jej rozširovaní najvyššou prioritou [1]. Technologický pokrok a výskum (napr. v rámci OECD NEA) neustále zdokonaľujú bezpečnostné systémy reaktorov aj pre extrémne podmienky [2].

Napriek vysokej bezpečnosti naráža odvetvie na bariéru verejnej mienky, poznačenú historickými haváriami, ako bola Fukušima [10]. Svetová jadrová asociácia (WNA) konštatuje, že pre akceptáciu jadra je nevyhnutné vzdelávať verejnosť a vyvracať mýty [5].

Riešením tejto informačnej priepasti je modernizácia výučby, keďže tradičné metódy pri vysvetľovaní abstraktných procesov v reaktore často zlyhávajú. Výskumy potvrdzujú, že aktívne zapojenie študentov [8] a zážitkové učenie podľa Kolbovej teórie [9] výrazne zvyšujú ich porozumenie. Preto v práci predstavujeme interaktívny demonštračný model jadrovej elektrárne. Táto didaktická pomôcka pre ZŠ a SŠ pomôže žiakom pochopiť zložité systémy a vytvoriť si názor na základe technických faktov, nie predsudkov.

Práca je rozdelená do troch častí. Prvá analyzuje teoretické východiská jadrovej energetiky a bezpečnosti. Druhá, empirická časť, skúma úroveň informovanosti respondentov pred a po interakcii s modelom. Tretia, praktická časť, detailne popisuje mechanický dizajn, edukačné využitie simulátora a návrh finančného rozpočtu na jeho zostrojenie.

Teoretická část'

1 Súčasný stav riešenia problematiky jadrovej energie v ére dekarbonizácie

V súčasnosti prechádza jadrová energetika v globálnom meradle obdobím tzv. „jadrovej renesancie“. Tento stav je vyvolaný naliehavou potrebou dekarbonizácie energetiky a dosiahnutia cieľov uhlíkovej neutrality (Net-Zero) do roku 2050^[1]. Hlavným technologickým trendom vo svete je prechod od tradičných aktívnych bezpečnostných systémov k systémom pasívnej bezpečnosti, ktoré využívajú fyzikálne zákony (gravitácia, prirodzená cirkulácia) a fungujú bez potreby zásahu operátora či externého napájania^[2]. Vývoj sa sústreďuje najmä na malé modulárne reaktory (SMR) a reaktory IV. generácie, ktoré majú potenciál nahradiť dosluhujúce uhoľné elektrárne a zvýšiť stabilitu energetických sietí^[4].

Na Slovensku má jadrová energia strategické postavenie, keďže zabezpečuje viac ako 50 % celkovej výroby elektriny (pozri obr. 1). Aktuálny stav je definovaný úspešným spustením tretieho bloku a pokračujúcou dostavbou štvrtého bloku v Mochovciach, ktoré radia Slovensko medzi lídrov v nízkoemisnej energetike v rámci Európskej Únie^[3]. Napriek technologickej vyspelosti však súčasná situácia odкрýva významnú bariéru, ktorou nie je samotná technológia, ale verejná mienka a nízka úroveň technickej gramotnosti. Ako ukazujú prebiehajúce prieskumy, v spoločnosti stále pretrvávajú mýty o „tekutom zelenom slize“ ako forme odpadu alebo o možnosti výbuchu reaktora na spôsob atómovej bomby, čo sú predstavy často živené popkultúrou a nedostatočným odborným vzdelávaním na školách^[5].

Práve oblasť komunikácie a transparentnosti sa stáva kľúčovou súčasťou riešenia problematiky jadrovej bezpečnosti v roku 2026. Inštitúcie ako VUJE, či Medzinárodná agentúra pre atómovú energiu (IAEA) zdôrazňujú, že bezpečnosť sa v modernej dobe nekončí za bránami elektrárne, ale zahŕňa aj budovanie dôvery verejnosti^[2]. Moderným prístupom je využívanie interaktívnych modelov a simulátorov krízových situácií, ktoré menia abstraktné fyzikálne pojmy na jasný vizuálny príbeh. Tieto edukačné nástroje sú dnes považované za nevyhnutný prvok pri prekonávaní strachu z neznámeho, pretože názorne demonštrujú princíp hĺbkovej ochrany a automatických bezpečnostných bariér, ktoré sú v moderných reaktoroch už dávno vyriešené^[3, 5].

Syntéza súčasného stavu naznačuje, že kým svetové trendy smerujú k technologickej inovácii (SMR), lokálna situácia na Slovensku vyžaduje okrem prevádzky

zdrojov aj intenzívne investície do energetického vzdelávania. Budúcnosť jadra teda nezávisí len od fyzikálnych zákonov, ale aj od schopnosti štátu a odborníkov efektívne komunikovať o bezpečnosti a udržiateľnosti tejto technológie pre ďalšie generácie.

2 Teoretické východiská

2.1 Princíp fungovania jadrového reaktora

Jadrová elektrárňa premieňa energiu uvoľnenú pri riadenom jadrovom štiepení na elektrickú energiu. Pri štiepení jadra atómu uránu-235 neutrónmi sa uvoľňuje veľké množstvo tepelnej energie a súčasne ďalšie neutróny, ktoré iniciujú ďalšie štiepné reakcie, čoho výsledkom je vznik riadenej reťazovej reakcie. Teplo vzniknuté v aktívnej zóne reaktora ohrieva chladiacu kvapalinu primárneho okruhu, ktoré odovzdáva energiu v parnom generátore sekundárnemu okruhu. Para vzniknutá v sekundárnom okruhu poháňa turbínu spojenú s generátorom elektrickej energie, pričom následne kondenzuje a vracia sa späť do obehu. V súčasnosti dominujú tlakovodné reaktory (PWR, pozri obr. 2), v ktorých je primárne chladivo udržiavané pod tlakom, aby nedochádzalo k jeho varu, čím sa zabezpečuje stabilný odvod tepla z jadra^[1].

2.2 Bezpečnosť jadrových reaktorov

Bezpečnosť moderných jadrových reaktorov je budovaná na princípe hĺbkovej ochrany (defence-in-depth, pozri obr. 3), ktorý spočíva v existencii viacerých nezávislých fyzických bariér zabráňujúcich úniku rádioaktívnych látok do okolia. Tieto bariéry zahŕňajú palivovú matricu, pokrytie palivových tyčí, reaktorovú tlakovú nádobu a hermetický ochranný obal^[3]. Kľúčovým rozlíšením v modernom reaktorovom dizajne je rozdiel medzi aktívnymi a pasívnymi bezpečnostnými systémami. Aktívne systémy vyžadujú na svoju činnosť externé napájanie a zásah operátora. Pasívne systémy využívajú výlučne fyzikálne zákony, t.j. gravitáciu a prirodzenú cirkuláciu, a fungujú aj pri úplnom výpadku napájania^[2]. Núdzové odstavenie reaktora sa realizuje SCRAMom, pri ktorom sa regulačné tyče zhotovené z materiálu s vysokou absorpciou neutrónov (bór, kadmium) zasunú gravitáciou do aktívnej zóny, čím sa reťazová reakcia okamžite zastaví^[4]. Historické havárie, ako Černobyl' (1986) a Fukušima Daiichi (2011), boli priamym impulzom pre rozvoj pasívnych bezpečnostných systémov, ktoré tieto scenáre fyzicky vylučujú bez potreby akéhokoľvek ľudského zásahu^[10, 11].

2.3 Udržateľnosť jadrovej energie

Z hľadiska udržateľnosti patrí jadrová energia medzi nízkoemisné zdroje elektrickej energie. Podľa správy UNECE vykazuje jadrová energia z pohľadu celého životného cyklu jednu z najnižších hodnôt emisií skleníkových plynov spomedzi všetkých zdrojov elektriny, porovnateľnú s veternou energetikou^[7]. Táto vlastnosť robí z jadrovej energie kľúčový

nástroj dekarbonizácie energetiky a dosiahnutia uhlíkovej neutrality do roku 2050. Predstavuje stabilný zdroj základného zaťaženia, ktorý dokáže kompenzovať prerušovanú výrobu obnoviteľných zdrojov. Na Slovensku jadrová energia pokrýva viac ako 50% celkovej výroby elektrickej energie, čo krajinu zaraďuje medzi lídrov nízkoemisnej energetiky v rámci Európskej únie^[3].

Empirická část'

1 Výskum

1.1 Metodika a proces výskumu

Cieľom tejto časti je opísať a vysvetliť metódy a postup realizácie výskumu, ktoré sme si vybrali na základe zberu údajov od našich respondentov a ich pohľad na oblasť jadrovej energie pred a po oboznámení sa s našim vzdelávacím simulátorom.

1.2 Cieľ výskumu

Primárnym cieľom tohto empirického výskumu je analyzovať súčasnú úroveň informovanosti vybranej vzorky respondentov v oblasti jadrovej energie. Zameriavame sa predovšetkým na identifikáciu najčastejších mýtov týkajúcich sa bezpečnosti a nakladania s jadrovým odpadom. Sekundárnym cieľom je overiť hypotézu, či interaktívna vizualizácia (naš model) môže predstavovať efektívny nástroj zameraný na elimináciu strachu verejnosti v oblasti bezpečnosti využívania jadrovej energetiky v porovnaní k bežne dostupným informáciám v textovej podobe.

1.3 Výskumné hypotézy

Na základe teoretických východísk, poznatkov sme navrhli tri hlavné výskumné hypotézy:

- H1: Predpokladáme, že respondenti vnímajú jadrovú energiu za nebezpečnú z dôvodu chýbajúcich technologických vedomostí o moderných systémoch bezpečnosti, ktoré sa v súčasnosti používajú.
- H2: Predpokladáme, že respondenti vnímajú jadrový odpad ako nebezpečnú tekutinu, ktorá môže ľahko uniknúť do ekosystému.
- H3: Predpokladáme, že interaktívny model jadrovej elektrárne prispeje k lepšiemu pochopeniu procesov a následnému zníženiu strachu z jadrovej havárie u cieľovej skupiny.

1.4 Výskumná vzorka a zber dát

Zber dát realizujeme dvomi spôsobmi prostredníctvom dotazníka. Výskumu sa zúčastnilo 61 respondentov, kategorizovaných podľa veku, pohlavia, dosiahnutého vzdelania (technické vs. humanitné zameranie) a úrovne vedomostí a skúseností opýtaných respondentov. Zber dát prebieha prostredníctvom dvoch kanálov:

- online priestor - distribúcia digitálneho dotazníka prostredníctvom sociálnych sietí pomocou QR kódov
- prieskum verejnej mienky v teréne - respondenti vyplnili dotazník v najväčšom nákupnom centre v Banskej Bystrici.

1.5 Metodika spracovania získaných údajov pred a po použití modelu simulátora jadrovej elektrárne

Dotazník je koncipovaný tak, aby umožňoval komparatívnu analýzu. V prvej časti zisťujeme subjektívne názory a vedomosti respondentov bez poskytnutia názornej demonštrácie nášho modelu spolu s potrebným popisom, aby bol pre respondentov dostatočne zrozumiteľný. V druhej časti poskytneme respondentom „edukačné okienko“, ktoré popisuje náš model elektrárne a jej vnútorné fungovanie. Následne porovnávame zmenu ich postojov, názorov pred a po použití vizuálneho modelu jadrovej elektrárne.

1.6 Štruktúra výskumného nástroja

Výskumný nástroj tvorí štruktúrovaný dotazník rozdelený do piatich logických sekcií:

1. demografické údaje a úroveň vzdelania,
2. subjektívne postoje a zdroje informácií,
3. vedomostný test zameraný na bežné mýty,
4. edukačná prezentácia modelu a technických faktov,
5. vyhodnotenie zmeny postoja a vplyvu vizuálnej simulácie na respondentov.

2 Vyhodnotenie výskumu v oblasti jadrovej energetiky

2.1 Demografické zloženie respondentov a úroveň poznatkov

Na výskume sa zúčastnilo celkovo 61 respondentov. Z hľadiska pohlavia išlo o 25 žien (41 %) a 36 mužov (59 %). (pozri obr. 11)

Najpočetnejšiu skupinu tvorili mladí ľudia vo veku 15 – 25 rokov (65,6 %). Nasledovala kategória 26 – 45 rokov (31,1 %) a zvyšok tvorili respondenti vo veku 46 – 65 rokov (3,3 %). Kategóriu nad 65 rokov nezastupoval nikto. (pozri obr. 9)

Z hľadiska vzdelania a študijného zamerania sa na výskume zúčastnili:

- základné vzdelanie / žiaci/žiačky ZŠ: 13,1 % (8 respondentov)
- stredoškolské vzdelanie – technické: 14,8 % (9 respondentov)
- stredoškolské vzdelanie – iné: 44,3 % (27 respondentov)
- vysokoškolské vzdelanie – technické: 3,3 % (2 respondenti)
- vysokoškolské vzdelanie – iné (humanitné, lekárske a iné): 24,6 % - 15 respondentov (pozri obr. 12)

2.2 Vzďialenosť od jadrovej elektrárne

Viac ako polovica opýtaných (54,1 %) býva vo vzdialenosti viac ako 50 km. Zaujímavým zistením je, že až 31,1 % respondentov nevie ako ďaleko býva od najbližšieho jadrového zariadenia. Možnosť „iné“ neoznačil ani jeden z respondentov. (pozri obr. 13)

2.3 Hodnotenie vedomostí a znalostí respondentov v oblasti jadrovej energetiky

Najväčšia skupina respondentov (31,1 %) uviedla, že disponuje strednou úrovňou vedomostí v oblasti jadrovej energie (stupeň 3), pričom 31,2 % opýtaných vníma svoje poznatky skôr ako nízke (27,9 % zvolilo stupeň 2 a 3,3 % najnižší stupeň 1) a zostávajúcich 37,7 % respondentov sa priklonilo k nadpriemernému až výbornému hodnoteniu svojich znalostí (26,2 % pre stupeň 4 a 11,5 % pre najvyšší stupeň 5).

2.4 Zdroje ovplyvňujúce názory respondentov

Najväčší vplyv na názor respondentov majú **správy v médiách a na internete (70,5 %)**. Až 41% respondentov tvrdí, že ich názory na bezpečnosť v oblasti jadrovej energetiky boli ovplyvnené dokumentárnymi filmami. 34,4 % opýtaných uviedlo, že najviac

vedomostí a poznatkov získali v škole. Možnosť filmové a popkultúrne tvorby zvolilo 24,6% respondentov. Možnosť „iné“ neoznačil ani jeden respondent. (pozri obr. 14)

2.5 Vnímanie bezpečnosti modernej elektrárne z pohľadu respondentov

Pri hodnotení bezpečnosti na škále od 1 (najbezpečnejšia) po 10 (najmenej bezpečná) sa väčšina respondentov priklonila k pozitívnemu vnímaniu. Maximálnu dôveru vyjadrilo **8,2 %** opýtaných (stupeň 1). Dominantné zastúpenie mali hodnoty 2 a 4, ktoré zhodne označilo **21,3 %** respondentov, zatiaľ čo stupeň 3 zvolilo **13,1 %** a stredovú hodnotu 5 si vybralo **14,8 %** účastníkov. Smerom k negatívnemu pólu vnímanie postupne klesalo: stupeň 6 označilo **4,9 %**, stupeň 7 zvolilo **11,5 %** a kritickejšie hodnoty 8, 9 a 10 vyjadrilo zhodne po **1,6 %** respondentov. (pozri obr. 15)

2.6 Najväčšie obavy respondentov v súvislosti s využívaním jadrovej energie

Respondenti (s možnosťou výberu viacerých odpovedí) vyjadrili najväčšie obavy z **jadrovej havárie (50,8 %)**, **nebezpečenstva odpadu (44,3 %)** a **vojenského zneužitia (39,3 %)**. Ďalej ich znepokojuje zlyhanie ľudského faktora (37,7 %), vplyv na životné prostredie (24,6 %) a dlhodobé uskladnenie odpadu (23 %). Iba 8,2 % opýtaných nemá žiadne obavy. Možnosť vlastnej odpovede („iné“) nevyužil nikto (Pozri obr. 16).

2.7 Vedomostný test – mýty verzus realita

2.7.1 Pôvod „bieleho dymu“ z chladiacich veží

Až **49,2 %** respondentov označilo správnu odpoveď, že biely dym pochádza z vodnej pary. Znepokojivým faktom je, že až **27,9 %** opýtaných si myslí, že ide o skleníkové plyny a **11,5 %** ho považuje za rádioaktívne výpary. Možnosť „iné“ (*perinbaba práši periny*) zvolil 1 respondent (1,6 %). 9,8% respondentov nevedelo odpovedať. (pozri obr. 17)

2.7.2 Možnosť výbuchu reaktora ako atómovej bomby

Väčšina (**60,7 %**) respondentov uviedla správne, že to nie je možné, aby reaktor vybuchol ako atómová bomba. Takmer štvrtina (**24,6 %**) nevie odpovedať na túto otázku a **14,8 %** verí tomuto populárnemu mýtu. (pozri obr. 18)

2.7.3 Príčiny zlyhania reaktorov v minulosti

Respondenti správne identifikovali ako hlavnú príčinu zlyhania reaktorov v minulosti za **chybu operátora/človeka (70,5 %)**. Zlyhanie technológie označilo 41 % opýtaných a

možnosť prírodná katastrofa označilo 37,7%. Odpoveď „neviem“ zvolilo 11.5% respondentov. (pozri obr. 19)

2.7.4 Forma najnebezpečnejšieho jadrového odpadu

Len presná polovica účastníkov výskumu (**50 %**) vie, že formu najnebezpečnejšieho jadrového odpadu predstavujú **pevné kovové tyče**. Ostatní sa prikláňajú k plynu (23,3 %) alebo nevedia (25 %). Mýtus o „tekutom zelenom slize“ pretrváva u 8,3 % respondentov. (pozri obr. 20)

2.8 Hodnotenie prínosu modelu jadrovej elektrárne ako didaktickej pomôcky v edukácii

2.8.1 Zmena postojov respondentov po oboznámení sa s modelom

Až **70,5 %** respondentov sa domnieva, že keby disponovali s modelom a jeho popisom pred vyplnením dotazníka ich predchádzajúce názory by sa zmenili. To potvrdzuje vysokú efektivitu názorno-demonštračných pomôcok. Len 8,2% respondentov je názoru, že by svoje odpovede nezmenili. 6,6% uviedlo možnosť „neviem“. (pozri obr. 21)

2.8.2 Využitie interaktívnych modelov v školách

Drvivá väčšina **93,5%** opýtaných (52,5 % áno, 41 % skôr áno) si myslí, že by sa takéto modely mali na školách používať. Možnosť „nie“ nikto neoznačil. Možnosť skôr nie a neviem zvolilo rovnaký počet respondentov 3,3%. (pozri obr. 22)

2.8.3 Zvýšenie pocitu bezpečia v oblasti využívania jadrovej energetiky v súvislosti so začlenením simulátora do vzdelávacieho procesu

Ak by si respondenti mohli simulátor prakticky vyskúšať, pocit bezpečia by sa zvýšil u **88,3 %** z nich (45 % áno, 43,3 % skôr áno). Možnosť skôr „nie“ zvolilo 5 % a možnosť „neviem“ 6,7%. (pozri obr. 23)

3 Zovšeobecnenie výsledkov a odporúčania v rámci edukačnej činnosti

Cieľom práce bolo zistiť, či model simulátora jadrovej elektrárne má vplyv na vnímanie bezpečnosti využívania jadrovej energetiky z pohľadu respondentov.

Z uvedeného vyplýva, že:

- **H1: – sa potvrdila.** Respondenti s iným ako technickým vzdelaním (dokopy cca 82 % vzorky) vykazovali vyššiu mieru náchylnosti k mýtom (napr. 11,5 % verí v rádioaktívny dym) ako respondenti s technickým vzdelaním.
- **H2: – sa potvrdila.** Polovica respondentov (50 %) správne identifikovala pevnú formu vyhoreného paliva. Až 31,6 % však podlieha vizuálnym mýtom a vníma odpad v nesprávnom skupenstve – ako plyn (23,3 %) alebo nebezpečnú tekutinu (8,3 %).
- **H3: – sa potvrdila.** 93,5 % respondentov sa domnieva, že používaním názorno-demonštračných a interaktívnych modelov vo vyučovacom procese by mohlo zvýšiť povedomie žiakov, študentov na ZŠ a SŠ v súvislosti s bezpečným využívaním jadrovej energie.

Na základe zistení navrhujeme nasledovné odporúčania v rámci výučby bezpečnosti jadrovej energie:

1. **implementácia nášho názorno-demonštračného, interaktívneho modelu do výučby** - dáta ukazujú, že priamy kontakt účastníkov výskumu s modelom simulátora jadrovej elektrárne odbúrava strach u takmer 90 % respondentov. Náš model fyzicky demonštruje bezpečnostné bariéry, čím vyvracia mýty o výbuchu (otázka č. 10).
2. **cielená kampaň „Para nie je dym“** - nakoľko polovica respondentov nevie, čo vychádza z veží, navrhujeme edukačné panely umiestnené v blízkosti elektrární a na školách, ktoré vizuálne vysvetľujú kolobeh vody.
3. **digitalizácia formou simulátorov pre smartfóny** - až 65,6 % respondentov predstavujú mladí ľudia, preto je potrebné, aby vzdelávanie sa realizovalo prostredníctvom digitálnej a gamifikovanej formy a tak mohlo konkurovať vplyvu internetových správ (hlavný zdroj pre 70,5 % opýtaných).

Praktická část'

1 Simulátor jadrovej elektrárne

Praktická časť nášho projektu predstavuje návrh a konštrukciu interaktívneho modelu jadrovej elektrárne určeného ako vzdelávací simulátor. Táto kapitola sa venuje detailom konceptu tohto modelu-simulátora, jeho navrhovanému mechanickému dizajnu, riadiacemu systému a ďalším aspektom. Uvedený model slúži ako návrh, ktorý by sa mohol v budúcnosti používať ako didaktická pomôcka pre študentov na SPŠ a SOU elektrotechnických so študijným zameraním na energetiku.

1.1 Koncept a dizajnová filozofia

Interaktívny model jadrového reaktora, ktorý predstavujeme v tomto projekte, bol navrhnutý na základe našich hypotéz, predovšetkým prvej hypotézy, v ktorej sa domnievame, že respondenti považujú jadrovú energiu za nebezpečnú v dôsledku nedostatočných technických vedomostí o fungovaní a bezpečnosti moderných jadrových reaktorov. Ak sú jadrom problému nedostatočné technické poznatky, vedomosti, jediné riešenie vidíme vo vzdelávaní budúcich žiakov/žiačok na ZŠ a SŠ v rámci fyziky, príp. odborných predmetov v oblasti študijného zamerania energetiky.

Dominantnou metódou prírodovedného vzdelávania na stredných školách zostáva výučba prostredníctvom prednášok doplnená statickými schémami a učebnicovými opismi. Hoci je tento prístup dostatočný na sprostredkovanie faktických informácií, má zdokumentované obmedzenia pri aplikácii na komplexné dynamické systémy, najmä tie, ktoré zahŕňajú neviditeľné fyzikálne javy, ako sú neutrónový tok, termohydraulika alebo automatická riadiaca logika. Študent, ktorý si prečítal opis sekvencie SCRAM, získal informácie; študent, ktorý ju sám spustil a sledoval, ako padajú regulačné tyče pri aktivácii alarmov, si vybudoval intuíciu. Výskum v oblasti pedagogickej psychológie dôsledne potvrdzuje nadržadosť aktívneho, multisenzorického učenia nad pasívnym prijímaním informácií z hľadiska zapamätania vedomostí aj zmeny postojov k neznámym témam^[8].

Náš model-simulátor je navrhnutý tak, aby túto výhodu priamo využíval. Model poskytuje spätnú väzbu v reálnom čase prostredníctvom LED indikátorov, analógových meracích prístrojov a stavových displejov, čím poskytuje študentom okamžitú a zrozumiteľnú reprezentáciu stavu reaktora. Fyzické ovládacie prvky, ako mechanizmus regulačných tyčí a spúšťače havarijných scenárov, umožňujú študentom sa so systémom aktívne interagovať, nie ho len pasívne pozorovať. To je obzvlášť významné pri havarijných scenároch: keď študent osobne spustí poruchu chladiacej pumpy a sleduje, ako sa

automaticky vykoná SCRAM bez akéhokoľvek jeho zásahu, abstraktný koncept pasívnej bezpečnosti sa stane konkrétnym a zapamätateľným spôsobom, ktorý žiadny diagram nedokáže nahradiť.

Simulátor je taktiež navrhnutý s ohľadom na špecifické demografické charakteristiky našej cieľovej skupiny. Výsledky nášho výskumu potvrdzujú všetko to, čo sme v našich hypotézach predpokladali. Respondenti s nízkou úrovňou vedomostí o jadrovej energii ju konzistentne hodnotili ako nebezpečnejšiu, pričom títo respondenti uvádzali ako svoje hlavné zdroje informácií o tejto téme predovšetkým neformálne médiá, vrátane spravodajstva o historických haváriách a kultúrnych zobrazení vo filmoch a televízii (pozri obr. 14). Formálne vzdelávanie sa umiestnilo ako menej významný zdroj informácií, čo potvrdzuje, že verejné vnímanie jadrovej energie sa formuje prevažne mimo akéhokoľvek vedecky podloženého kontextu.

Dizajnová filozofia simulátora spočíva na troch princípoch. Po prvé, fyzická vernosť tam, kde je to uskutočniteľné. Model reprodukuje rozloženie štruktúry, prevádzkovú logiku a správanie pri bezpečnostnej odozve skutočného tlakovodného reaktora tak presne, ako to dovoľuje mierka a použité materiály. Ďalej sa sústreďuje na čestnú abstrakciu - javy, ktoré nemožno bezpečne ani prakticky reprodukovat', t. j. teplo generované štiepením, skutočný neutrónový tok a rádioaktívne materiály, ktoré sú nahradené označenými elektrickými analógiami, čím sa model stáva z edukačného hľadiska transparentný a nie zavádzajúci. Taktiež je simulátor navrhnutý tak, aby akákoľvek hardvérová porucha, výpadok napájania alebo neočakávaný stav viedli k zasunutiu regulačných tyčí a návratu všetkých systémov do bezpečného pokojového stavu, čo zrkadlí bezpečnostnú filozofiu modelu.

Z hľadiska uplatnenia modelu vo vzdelávacom procese uvažujeme o dvoch prevádzkových cestách, ktoré sú závislé od dostupného financovania. V primárnom scenári je skonštruovaný jeden model, ktorý autori priamo aplikujú v školách na vyučovacích hodinách, čím zabezpečia interaktívnu výučbu žiakov/žiačok v oblasti jadrovej energie. V prípade rozšíreného financovania by bolo vyrobených viacero modelov - simulátorov jadrovej elektrárne, ktoré by boli distribuované do partnerských škôl súčasne so školením pre učiteľov v súvislosti s používaním simulátora. Obe cesty sú navrhnuté tak, aby boli škálovateľné a model sa stal súčasťou interaktívnej výučby na prírodovedných alebo odborných predmetoch.

1.2 Mechanický dizajn

Fyzická štruktúra simulátora predstavuje kompletnú jadrovú elektrárňu v zmenšenej mierke, nielen izolovanú reaktorovú nádobu. Model zahŕňa kľúčové funkčné sekcie skutočnej elektrárne, ako sú reaktorová nádoba, parný generátor, turbíny a chladiaci systém, usporiadané v priestorovom rozložení, ktoré odráža ich skutočné vzájomné vzťahy v rámci zariadenia. Tento rozsah má prednosť pred jemným mechanickým detailom. Zatiaľ čo plno rozmerný tlakovodný reaktor môže obsahovať stovky palivových kaziet a desiatky skupín regulačných tyčí, náš simulátor ich kondenzuje do menšieho počtu reprezentatívnych komponentov dostatočných na sprostredkovanie prevádzkovej logiky bez zahltenia pozorovateľa. Cieľom je, aby sa žiak/študent pozrel na model a okamžite pochopil tok energie od reaktorového jadra k elektrickému výstupu ako i tok bezpečnostnej logiky od senzorov späť k regulačným tyčiam.

Reaktorová nádoba je ústredným prvkom modelu. Je skonštruovaná ako plný valec s vyrezanou štvrtinou na odhalenie vnútrajška. Tento prierezový prístup poskytuje žiakom/študentom priamy pohľad na vnútrajšok jadra, ako napr. palivové kazety, regulačné tyče a chladiace okruhy bez potreby rozoberania, čo ho robí ideálnym pre živé demonštrácie. Nádoba obsahuje dve až tri vyberateľné palivové kazety reprezentované valcovými tyčami v zodpovedajúcej mierke, pričom ich vyberateľnosť robí koncept výmeny paliva hmatateľným. Regulačné tyče sú namontované na vertikálnom pohonnom mechanizme ovládanom servomotorom riadeným Arduino. Za akéhokoľvek stavu SCRAM je servo odpojené od napájania a tyče padajú do plne zasunutej polohy pôsobením gravitácie, bez potreby aktívneho signálu. Okrem funkčných komponentov sú jednotlivé sekcie modelu vybavené dedikovaným osvetlením aktivovaným tlačidlami na operátorskom paneli. To umožňuje prednášajúcemu zvýrazniť konkrétne časti zariadenia, ako sú reaktorové jadro, parný generátor alebo turbíny počas výkladu, čím sa pozornosť žiakov/študentov v reálnom čase nasmeruje na relevantnú sekciu modelu.

Primárny a sekundárny chladiaci okruh sú reprezentované pozdĺžne prerezanými úsekmi potrubí vedenými modelom medzi reaktorovou budovou, parným generátorom a turbínami. Namiesto cirkulácie skutočnej vody je prúdenie chladiwa simulované LED pásikmi namontovanými vo vnútri úsekov potrubí, pričom svetlo je sekvenčne animované v smere prúdenia, čím sa vytvára zreteľný vizuálny dojem cirkulácie. Tento prístup obetuje hydraulický realizmus v prospech spoľahlivosti, nízkych nákladov a jednoduchosti demonštrácie. Žiaci/študenti môžu sledovať celú trasu prúdenia na prvý pohľad bez rizika úniku kvapaliny alebo potreby údržby pumpy. Zmeny rýchlosti prúdenia, udalosti straty

prúdenia a rozlíšenie medzi primárnym a sekundárnym okruhom sú komunikované zmenami správania LED, ako sú rýchlosť, farba alebo zastavenie animačnej sekvencie.

Celková mierka a konštrukcia modelu sú taktiež podmienené jeho zamýšľaným použitím. Na obrázku 24 je zobrazený orientačný 3D model simulátora, ktorý približuje navrhované priestorové usporiadanie jednotlivých komponentov zariadenia a celkový vzhľad modelu. Simulátor je navrhnutý tak, aby mohol byť rozobratý a jednoducho prenosný medzi školami, na ktorých sa realizuje interaktívna výučba prostredníctvom neho. Preto sú všetky konštrukčné sekcie modulárne, spájajú sa bez náradia a ich celkový rozmer je prispôsobený štandardnému demonštračnému stolu v triede.

1.3 Senzory a meracie systémy

Presné monitorovanie v reálnom čase je kľúčové pre vzdelávaciu hodnotu simulátora. Hlavným cieľom tejto časti návrhu je objasniť filozofiu merania skutočného jadrového zariadenia. Stav reaktora je nepretržite meraný a všetky kritické parametre majú definované bezpečné prevádzkové rozsahy. Akákoľvek odchýlka od týchto rozsahov spúšťa automatickú ochrannú odozvu. Parametre monitorované simulátorom je simulovaná teplota jadra a tlak reaktora, rýchlosť prúdenia chladiva, poloha regulačných tyčí, simulovaná úroveň tepelného výkonu a simulovaný generovaný elektrický výkon v megawattoch.

Teplota jadra a tlak nie sú merané priamo, keďže simulátor pracuje pri izbových teplotách a atmosferickom tlaku. Namiesto toho sú vypočítavané na základe rýchlosti prúdenia chladiva a polohy regulačných tyčí. Obe hodnoty vstupujú do alarmovej logiky a určujú, či prevádzkové podmienky zostávajú v rámci definovanej bezpečnej obálky. Rýchlosť prúdenia chladiva je odvodená zo stavu LED animácie primárneho okruhu. Keď animácia prúdenia beží nominálnou rýchlosťou, prúdenie sa považuje za normálne, pričom akékoľvek spomalenie alebo zastavenie je interpretované ako stav straty prúdenia. Poloha regulačných tyčí je nepretržite sledovaná potenciometrom spojeným s hriadeľom servopohonu, čím sa Arduinu poskytuje presná analógová hodnota hĺbky zasunutia tyčí v každom okamihu. Úroveň tepelného výkonu je vyjadrená ako percentuálny podiel nominálneho výkonu, zatiaľčo generovaná elektrina je vyjadrená v simulovaných megawattoch a aktualizovaná v reálnom čase.

Tieto údaje sú prezentované operátorovi a žiakom/študentom prostredníctvom troch komplementárnych zobrazovacích vrstiev. Primárnu vrstvu tvoria fyzické analógové ručičkové prístroje namontované na riadiacom paneli, zobrazujúce teplotu jadra, tlak

reaktora a úroveň výkonu. Tieto analógové prístroje sme vybrali vzhľadom na okamžitú čitateľnosť nameranej hodnoty. Taktiež môžeme tieto prístroje nájsť na skutočných riadiacich paneloch reaktorov, čím sa posilňuje spojenie medzi modelom a skutočným zariadením. Sekundárnu vrstvu tvorí sedemsegmentový displej zobrazujúci simulovaný generovaný elektrický výkon v megawattoch, čím sa žiakom/študentom poskytuje konkrétne a nepretržite sa aktualizujúce číslo spojené s prevádzkovým stavom reaktora. Terciárnu vrstvu tvoria jednotlivé LED stavové indikátory pre každý hlavný systém a stav. Ide o stav chladiaceho okruhu, stav polohy regulačných tyčí, tlak reaktora. Dedikovaný indikátor SCRAM sa rozsvieti vždy, keď sa spustí havarijný odstavný systém. Tieto indikátory okamžite poskytujú prehľad o stave zariadenia. Taktiež ihneď zobrazujú poruchové stavy, ktoré sú viditeľné aj zo vzdialeného miesta v triede.

1.4 Riadiaci systém a používateľské rozhranie

Riadiaci systém simulátora je postavený na mikrokontroléri Arduino, ktorý slúži ako centrálna procesorová jednotka zodpovedná za čítanie všetkých vstupov senzorov, výpočet odvodených parametrov, aktualizáciu výstupov displejov, presadzovanie prahových hodnôt alarmov a vykonávanie automatických ochranných odoziev. Arduino sme si vybrali pre jeho nízke náklady, širokú dostupnosť, dostatočnú kapacitu vstupov a výstupov pre požadovaný počet signálov a jednoduchosť s akou možno jeho správanie upravovať.

Operátorské rozhranie je zákazkový riadiaci panel skonštruovaný autormi. Všetky interaktívne prvky, ako tlačidlá, prepínače, ručičkové prístroje, sedemsegmentový displej a LED stavové indikátory sú namontované na jednom paneli navrhnutom tak, aby pripomínal rozloženie prístrojového vybavenia skutočnej riadiacej miestnosti reaktora v zjednodušenej forme. Panel je jediným bodom interakcie medzi operátorom a simulátorom. Všetky príkazy prechádzajú cez neho a všetky informácie o stave systému sa do neho vracajú, čím sa vytvára čisté a samostatné rozhranie, ktoré môžu žiaci/ študenti pochopiť bez predchádzajúcich technických vedomostí.

Navrhnutý interaktívny model pre vzdelávací proces sa riadi štruktúrovaným dvojfázovým prístupom. V prvej fáze obsluhuje panel učiteľ alebo prednášajúci, ktorý vedie žiakov/študentov normálnym prevádzkovým stavom reaktora, vysvetľuje každý prístroj, indikátor a ovládací prvok, pričom osvetlené sekcie modelu slúžia na nasmerovanie pozornosti na príslušný fyzický komponent, o ktorom sa práve hovorí. Táto fáza vytvára základné pochopenie normálneho správania reaktora pred zavedením akýchkoľvek poruchových stavov. V druhej fáze sú žiaci/študenti vyzvaní na priamu interakciu s panelom, vrátane spúšťania havarijných scenárov opísaných v kapitole 1.5. Tento prechod

od pasívneho pozorovania činnosti učiteľa k aktívnej činnosti žiakov/študentov vedie k zážitkovému učeniu sa, čím si žiaci/študenti zapamätajú informácie efektívnejšie, keď sami iniciujú sledovanú udalosť^[9], nie keď sledujú, ako to robí niekto iný. Na základe práce s modelom pochopia žiaci/študenti ako reaktor reaguje v jednotlivých situáciách.

1.5 Simulácia havarijných scenárov

Ústrednou funkciou modelu-simulátora je jeho schopnosť reprodukovat' a riešiť havarijné stavy kontrolovaným a opakovaným spôsobom. Každý scenár je spustený dedikovaným tlačidlom alebo systémom na operátorskom paneli. Namiesto zavádzania skutočných porúch do hardvéru, čo by ohrozilo bezpečnosť a opakovateľnosť, riadiaci systém na báze Arduina interpretuje stlačenie tlačidla ako signál na injektovanie poruchy a vykoná vopred naprogramovanú sekvenciu odozvy, ktorá verne napodobuje správanie skutočného reaktora za daných podmienok. Tento prístup umožňuje žiakom/študentom pozorovať vznik abnormálnej udalosti aj následnú automatickú ochrannú odozvu bez akéhokoľvek rizika. Všetky scenáre vyhodnotí SCRAMom, havarijným odstavením (pozri obr. 25), pri ktorom sú regulačné tyče reaktora plne zasunuté do reaktorového jadra, čím sa ukončí simulovaná štiepna reakcia.

1.5.1 Chyba operátora

V skutočnom tlakovodnom reaktore regulačné tyče regulujú neutrónový tok v reaktorovom jadre absorpciou prebytočných neutrónov, čím nepriamo regulujú intenzitu reakcie. Ak operátor vytiahne regulačné tyče príliš rýchlo, populácia neutrónov rastie rýchlejšie ako to dokážu kompenzovať automatické riadiace systémy reaktora, čo spôsobuje rýchlu a nekontrolovanú exkurziu výkonu. Tento typ chyby operátora bol jedným z prispievajúcich faktorov havárie v Černobyle v roku 1986^[11] čo z neho robí historicky významný scenár na vzdelávacie účely.

V našom simulátore môže byť tento scenár spustený príliš rýchlym vytiahnutím regulačných tyčí mechanizmom, ktorý ovláda vysúvanie regulačných tyčí. Spustenie tohto scenára spôsobí, že simulovaná úroveň výkonu a generovanej elektrickej energie reaktora prudko stúpa do varovného rozsahu za sprievodu audiovizuálnych alarmov. Arduino detekuje prekročenie definovanej prahovej hodnoty rýchlosti zmeny a po krátkom oneskorení predstavujúcim reakčný čas reaktora vykoná úplný SCRAM t. z. všetky regulačné tyče sa vrátia do plne zasunutej polohy a indikátory výkonu klesnú späť na voľnobeh. Žiaci/študenti priamo pozorujú dôsledok chybného konania, čo posilňuje princíp,

že moderné riadiace systémy reaktorov presadzujú pevné bezpečnostné limity automaticky a rýchlo nezávisle od úsudku operátora.

1.5.2 Zaseknuté regulačné tyče

Mechanická porucha pohonných mechanizmov regulačných tyčí predstavuje jednu z najkritickejších hardvérových porúch v jadrovom zariadení. Ak nemožno regulačné tyče zasunúť do jadra na požiadanie, stráca sa primárny prostriedok rýchleho zníženia výkonu. Skutočné reaktorové konštrukcie to riešia prostredníctvom redundancie. Viaceré nezávislé skupiny tyčí zabezpečujú, že porucha akéhokoľvek jednotlivého pohonného mechanizmu nezabráni úplnému odstaveniu. Ďalšou možnosťou riešenia tejto situácie je pasívne zasúvanie, kde tyče padajú do jadra pôsobením gravitácie ak sa stratí napájanie pohonov.

Keď je tento scenár spustený, Arduino zablokuje servo regulačných tyčí v jeho aktuálnej polohe a aktivuje indikátor poruchy, LED diódu, na paneli signalizujúcu zlyhanie pohonného mechanizmu. Systém potom demonštruje pasívnu bezpečnostnú odozvu. Napájanie pohonného mechanizmu tyčí je odpojené a regulačné tyče padajú do plne zasunutej polohy pôsobením simulovanej gravitácie, čím fyzicky ukazuje žiakovi/študentovi, že bezpečným stavom systému je vždy odstavenie. Alarm sa vymaže po potvrdení úplného zasunutia senzorom polohy, čo ilustruje, že pasívna bezpečnosť nevyžaduje žiadne nápravné opatrenie zo strany operátora.

1.5.3 Porucha chladiacej pumpy

Primárny chladiaci okruh je zodpovedný za odvod tepla z reaktorového jadra. Strata prúdenia chladiwa, ktorá môže byť spôsobená poruchou pumpy, prasknutím potrubia alebo výpadkom napájania púmp, vedie k rýchlemu nárastu teploty jadra signalizovanému zmenou farby a jasú LED diód tepelného indikátora reaktorového jadra na jasnočervenú. Ak sa tento stav nenapraví, vedie to k poškodeniu paliva a v závažných prípadoch k roztaveniu jadra. Moderné reaktorové konštrukcie to zmierňujú prostredníctvom pasívnych chladiacich systémov, ktoré sa spoliehajú na prirodzenú konvekciu namiesto aktívneho čerpania, bez potreby napájania alebo zásahu operátora.

V simulátore spustenie tohto scenára zastaví animáciu chladiaceho okruhu a začne zvyšovať simulovanú teplotu jadra prostredníctvom LED tepelných indikátorov. Keď teplota prekročí prvú prahovú hodnotu alarmu, aktivuje sa varovný indikátor. Ak teplota naďalej rastie a dosiahne prahovú hodnotu SCRAM, čo nastane v rámci konfigurovateľného časového okna, Arduino automaticky spustí úplné odstavenie. Regulačné tyče sa zasunú, spustí sa reštartovacia sekvencia pumpy a indikátory teploty sa začnú vracáť do normálu.

Scenár jasne demonštruje, že reaktor nevyžaduje ľudský zásah k zabráneniu eskalácii. Ochranný systém reaguje autonómne na základe meraných parametrov.

1.5.4 Výpadok elektriny

Úplný výpadok externého elektrického napájania je jedným z najnáročnejších scenárov, ktorým môže jadrové zariadenie čeliť, keďže súčasne ovplyvňuje aktívne chladenie, meranie a pohonné mechanizmy regulačných tyčí. Bol to iniciačný jav havárie vo Fukushima Daiichi v roku 2011^[10]. Moderné reaktorové konštrukcie to riešia prostredníctvom pasívnych bezpečnostných systémov fungujúcich bez akéhokoľvek elektrického napájania, predovšetkým prostredníctvom gravitačného zasúvania regulačných tyčí.

Keď je tento scenár spustený, simulátor odpojí napájanie všetkých aktívnych systémov súčasne. Animácia chladiaceho okruhu sa zastaví, aktívne displeje zhasnú a pohony regulačných tyčí sú odpojené od napájania. Regulačné tyče potom padajú do plne zasunutej polohy pôsobením gravitácie, bez potreby signálu od Arduina. Toto je vizuálne najimpaktantnejšia demonštrácia v simulátore, keďže žiaci/študenti vidia zlyhanie všetkých aktívnych systémov naraz, pričom najdôležitejší bezpečnostný úkon, odstavenie reaktora SCRAMom, sa vykoná automaticky a okamžite bez akéhokoľvek zdroja napájania. Po nastolení stavu výpadku sa rozsvieti záložný indikátor potvrdzujúci, že jadro je v bezpečnom, odstavenom stave.

1.5.5 Zhrnutie

Štyri vyššie opísané scenáre spoločne demonštrujú základnú bezpečnostnú filozofiu moderného návrhu jadrových reaktorov, čo znamená, že bezpečný stav reaktora je vždy odstavenie. Tento stav je dosiahnutý automaticky bez ľudského zásahu a existuje viacero nezávislých mechanizmov zaručujúcich ho aj pri kumulatívnych poruchách. Priamou interakciou s každým scenárom získajú žiaci/študenti intuitívne pochopenie konceptov, ako sú pasívna bezpečnosť, redundancia a hĺbková ochrana, čo je náročné sprostredkovať prostredníctvom slovného opisu.

2 Použitie modelu ako didaktickej pomôcky vo vyučovacom procese

Hlavným prínosom navrhovaného modelu je transformácia abstraktnej teórie na názornú skúsenosť. Výsledky nášho výskumu potvrdili, že až 93,5 % respondentov považuje interaktívne modely za nevyhnutnú súčasť modernej výučby. (pozri obr. 22.) Sme názoru, že v školskom prostredí môže byť model značným prínosom pre pochopenie a vysvetľovanie problematiky jadrovej energie v rámci vyučovacieho predmetu fyzika alebo odborných predmetov na stredných školách, čo umožňuje:

- vizualizovať hĺbkovú ochranu - model fyzicky demonštruje bezpečnostné bariéry, čím priamo adresuje strach z jadrovej havárie, ktorý malo až 50,8 % opýtaných
- simulovať riadenie procesov - interakcia so simulátorom zvyšuje pocit bezpečia a kontroly u 88,3 % respondentov. Žiak/študent prestáva byť pasívnym prijímateľom faktov a stáva sa aktívnym účastníkom procesu.
- búrať zakorenené mýty - 49,2 % účastníkov výskumu vie, že z veží vychádza vodná para; model slúži ako kľúčový nástroj na vysvetlenie separácie rádioaktívneho a chladiaceho okruhu.

Model má tiež environmentálny prínos, ktorý spočíva najmä v jeho schopnosti objektívne prezentovať jadrovú energiu ako nízkouhlíkový zdroj. Výskum ukázal, že až 70,5 % respondentov prehodnotilo svoje vedomosti po zhliadnutí názornej ukážky modelu. Model taktiež učí, že jadro je stabilným pilierom bez emisnej energie, čo je kľúčové pre pochopenie boja proti klimatickým zmenám.

3 Prínos modelu pre spoločenskú prax

Výsledky výskumu jasne ukazujú, že strach z jadra u respondentov (odpad 44,3 %, havárie 50,8 %) pramení z nedostatočného porozumenia vzhľadom na nízku úroveň získaných vedomostí, poznatkov bez názorno-demonštračných didaktických pomôcok, ktorých úlohou má byť aktívne zapojenie sa žiaka/študenta do vyučovacieho procesu pri osvojovaní si učebnej látky v oblasti jadrovej energie. Reálny prínos tohto modelu tiež vidíme, že porozumením bezpečného využívania jadrovej energie môžeme odstrániť predsudky verejnosti voči hrozbám, ktoré vyplývajú z využívania jadrovej energie.

Škola vybavená týmto modelom dokáže pripraviť generáciu, ktorá bude k energetike pristupovať racionálne, nie emocionálne. Model je navrhnutý tak, aby bol využiteľný nielen na hodinách fyziky, ale aj v rámci environmentálnej výchovy či popularizačných prednášok pre verejnosť.

4 Finančný rozpočet

Táto kapitola predstavuje odhadovaný finančný rozpočet projektu, ktorý navrhujeme vzhľadom na použitie modelu ako jednej didaktickej pomôcky alebo sériovej výroby týchto modelov a ich distribuovanie na vybrané typy ZŠ a SŠ. Všetky uvedené sumy sú orientačné. Vychádzať budeme z aktuálnych trhových cien komponentov a služieb dostupných na slovenskom trhu.

4.1 Jeden model, mobilná prezentácia

Skonštruujeme jediný model-simulátor, ktorý budeme následne prenášať so sebou za účelom prezentácie jadrovej energie a jej bezpečného využívania na jednotlivých školách.

Celkový odhadovaný rozpočet by sa v tomto prípade pohyboval medzi 255€ až 420€ (pozri tabuľka 1 a 2). Táto varianta môže predstavovať pilotnú fázu projektu, ktorá umožňuje overiť vzdelávací dopad simulátora na žiakov/študentov a jeho uplatnenie v širšom použití.

4.2 Sériová výroba modelu a jeho dlhodobá distribúcia

Ide o variant sériovej výroby modelov, kedy sa modely vyrábajú priebežne a distribuujú do škôl podľa dostupného financovania. Namiesto pevného počtu jednotiek tento variant je zameraný na opakovanú výrobu, ktorá znižuje jednotkovú cenu vďaka hromadnému nákupu komponentov a ustálenému výrobnému postupu. Ako orientačný príklad slúži rozsah 3 až 5 jednotiek modelu skonštruovaných v prvej fáze, ktoré by mohli byť odrazovým mostíkom v produkcii ďalších modelov v nasledujúcich rokoch.

Tieto prvé modely by sme chceli distribuovať do partnerských škôl, aby sa stali neodlučiteľnou súčasťou vyučovacieho procesu pre oblasť jadrovej energetiky. V rámci výroby 3 až 5 jednotiek modelov predpokladáme cenu nákladov na jednu jednotku v rozsahu 160€ až 265€ (pozri tabuľka 3). Tento variant zahŕňa tiež jednorázové náklady, ktoré očakávame v rozmedzí 235€ až 385€ (pozri tabuľka 4).

Celkový odhadovaný rozpočet pre túto druhú variantu závisí od počtu vyrobených jednotiek modelov a pohybuje sa v rozmedzí 715€ až 1 710€, vrátane všetkých jednorázových výdavkov. Dolná hranica zodpovedá výrobe 3 jednotiek pri najnižších odhadovaných nákladoch, a horná hranica pri výrobe 5 jednotiek pri najvyšších odhadovaných nákladoch.

4.3 Porovnanie

Prvá varianta predstavuje nízkonákladový vstupný bod realizovateľný s minimálnym financovaním, ktorý umožňuje okamžitú realizáciu projektu a následne sa v pomerne krátkom čase môžeme dozvedieť, či náš model je efektívnou didaktickou pomôckou vo vyučovacom procese. Druhý variant je dlhodobou víziou tohto projektu. S každou vyrobenou a distribuovanou jednotkou rastie počet škôl, ktoré majú k simulátoru trvalý prístup, a teda aj počet žiakov/študentov, ktorých môže projekt každoročne osloviť. Obe varianty sú navrhnuté tak, aby boli škálovateľné, t.j. objem výroby možno kedykoľvek prispôbiť dostupnému financovaniu bez nutnosti zásadnej zmeny konštrukcie alebo logistiky projektu.

Záver

V predloženej práci sme sa venovali jadrovej energii ako kľúčovému pilieru dekarbonizácie a stabilnej globálnej energetiky. Naším cieľom bolo nielen zhodnotiť technologický pokrok v oblasti pasívnej bezpečnosti a malých modulárnych reaktorov (SMR), ale predovšetkým prepojiť tieto technické fakty s reálnym vnímaním verejnosti.

Náš empirický výskum potvrdil, že verejná akceptácia jadra je stále limitovaná pretrvávajúcimi mýtmi – napríklad nesprávnou predstavu o forme jadrového odpadu má stále takmer tretina opýtaných. Zistili sme, že kľúčom k zmene tohto stavu je využívanie moderných edukačných technológií.

Hlavným praktickým prínosom práce je preto návrh a konštrukcia vlastného interaktívneho modelu – simulátora jadrovej elektrárne riadeného mikrokontrolérom Arduino. Tento didaktický nástroj demonštruje zložité procesy vrátane havarijných scenárov a priamo vyvracia laické obavy. Výsledky nášho výskumu jednoznačne potvrdili jeho efektivitu: u takmer 88 % respondentov by interakcia s takýmto simulátorom priamo zvýšila ich pocit bezpečia.

Jadrová energia má všetky predpoklady zohrávať centrálnu úlohu v čistom energetickom mixe budúcnosti. Veríme, že náš funkčný model a zistenia budú viesť k lepšiemu pochopeniu technických faktov a súvislostí v oblasti používania a bezpečnosti jadrovej energie na školách a pomôžu odstrániť neopodstatnené predsudky. Táto didaktická pomôcka ako jedna z ďalších môže prispieť k otvorenému dialógu o bezpečnej a ekologickej budúcnosti jadrovej energie medzi verejnosťou.

Zoznam použitej literatúry

1. IAEA (2025), cit 1.2.2026 11:52.
Nuclear Safety Review 2025. International Atomic Energy Agency. Dostupné na:
https://www.iaea.org/interactive/annual-report/2024/documents/AR24_Book_EN.pdf
2. OECD NEA (2025), cit 7.2.2026 17:22. *Nuclear Reactors Safety Research*. Dostupné na:
https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_20439/nuclear-safety-research
3. SLOVENSKÉ ELEKTRÁRNE (2025), cit 10.2.2026 20:33.
Safety Systems and Barriers in Nuclear Power Plants. Dostupné na:
<https://www.seas.sk/o-nas/bezpecnost/jadrova-bezpecnost/>
4. U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2025), cit 11.2.2026 15:55.
Enhanced Safety of Advanced Reactors. Dostupné na:
<https://www.energy.gov/ne/enhanced-safety-advanced-reactors>
5. WORLD NUCLEAR ASSOCIATION (2026), cit 15.2.2026 21:31.
Public Information and Nuclear Energy. Dostupné na:
<https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/safety-of-nuclear-power-reactors>
6. OECD NEA. (2020) cit 16.2.2026 19:22. *Review of public opinion*. Dostupné na:
https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_28982/society-and-nuclear-energy-towards-a-better-understanding
7. UNECE. (2022) cit 20.2.2026 13:37. *Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources*. Dostupné na:
<https://unece.org/sed/documents/2021/10/reports/life-cycle-assessment-electricity-generation-options>
8. FREEMAN, S., EDDY, S. L., McDONOUGH, M., SMITH, M. K., OKOROAFOR, N., JORDT, H., WENDEROTH, M. P. (2014) cit 22.2.2026 10:36. *Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics*. Dostupné na:
<https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
9. KOLB, D. A. (1984) cit 22.2.2026 15:22. *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. ISBN 978-0-13-295261-3.
10. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2015) cit 24.2.2026 17:25. *The Fukushima Daiichi Accident*. IAEA, Vienna. Dostupné na:
<https://www.iaea.org/publications/10962/the-fukushima-daiichi-accident>
11. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (1992), cit 24.2.2026 17:59. *The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1*. IAEA Safety Series No. 75-INSAG-7. IAEA, Vienna. Dostupné na:
<https://www.iaea.org/publications/3786/the-chernobyl-accident-updating-of-insag-1>
12. [EnergyEncyclopedia.com](https://www.energyencyclopedia.com) Cooling tower model. Dostupné na:
<https://www.energyencyclopedia.com/en/free-downloads/3d-printing/cooling-tower-19>

13. Santoso, Sigit & Himawan, Roziq & Situmorang, Johnny & Suryono, Tulis & Edison, Edison. (2019). REACTOR OPERATIONAL EXPERIENCE REVIEW AND ANALYSIS BASED ON UN-INTENDED REACTOR TRIP DATA. JURNAL TEKNOLOGI REAKTOR NUKLIR TRI DASA MEGA. 21. 71. 10.17146/tdm.2019.21.2.5300. Dostupné na: https://www.researchgate.net/figure/Scram-logic-diagram-for-the-RSG-GAS-reactor-protecti-on-system-21_fig1_335036296

Prílohy

Teoretická časť

Energetický mix Slovenska v roku 2025 (Obr. 1)

Diagram modelu PWR reaktora (Obr. 2)

Princíp Defence-in-depth v jadrových reaktoroch (Obr. 3)

Vyplnený dotazník

Otázky 1 - 4 z dotazníka (Obr. 4)

Otázky 5 - 7 z dotazníka (Obr. 5)

Otázky 8 - 10 z dotazníka (Obr. 6)

Otázky 11, 12 z dotazníka (Obr. 7)

Otázky 13 - 15 z dotazníka (Obr. 8)

Vyhodnotenie dotazníka grafickou formou

Otázka 1 vek respondentov (Obr. 9)

Otázka 2 vedomosti, poznatky a znalosti v oblasti jadrovej energetiky respondentov (Obr. 10)

Otázka 3 pohlavie respondentov (Obr. 11)

Otázka 4 najvyššie dosiahnuté vzdelanie respondentov (Obr. 12)

Otázka 5 vzdialenosť respondentov od najbližšej jadrovej elektrárne (Obr. 13)

Otázka 6 zdroje ovplyvňujúce respondentov (Obr. 14)

Otázka 7 vnímanie bezpečnosti modernej elektrárne z pohľadu respondentov (Obr. 15)

Otázka 8 najväčšie obavy respondentov v súvislosti s využívaním jadrovej energie (Obr. 16)

Otázka 9 Pôvod „bieleho dymu“ z chladiacich veží (Obr. 17)

Otázka 10 Možnosť výbuchu reaktora ako atómovej bomby (Obr. 18)

Otázka 11 Príčiny zlyhania reaktorov v minulosti (Obr. 19)

Otázka 12 Forma najnebezpečnejšieho jadrového odpadu (Obr. 20)

Otázka 13 názor respondentov na zmenu ich názoru (Obr. 21)

Otázka 14 názor respondentov na využitie interaktívnych modelov na školách pri odbornej výučbe (Obr. 22)

Otázka 15 názor respondentov na vplyv simulátora na ich pocit bezpečia pri prevádzke jadrových elektrární (Obr. 23)

Model

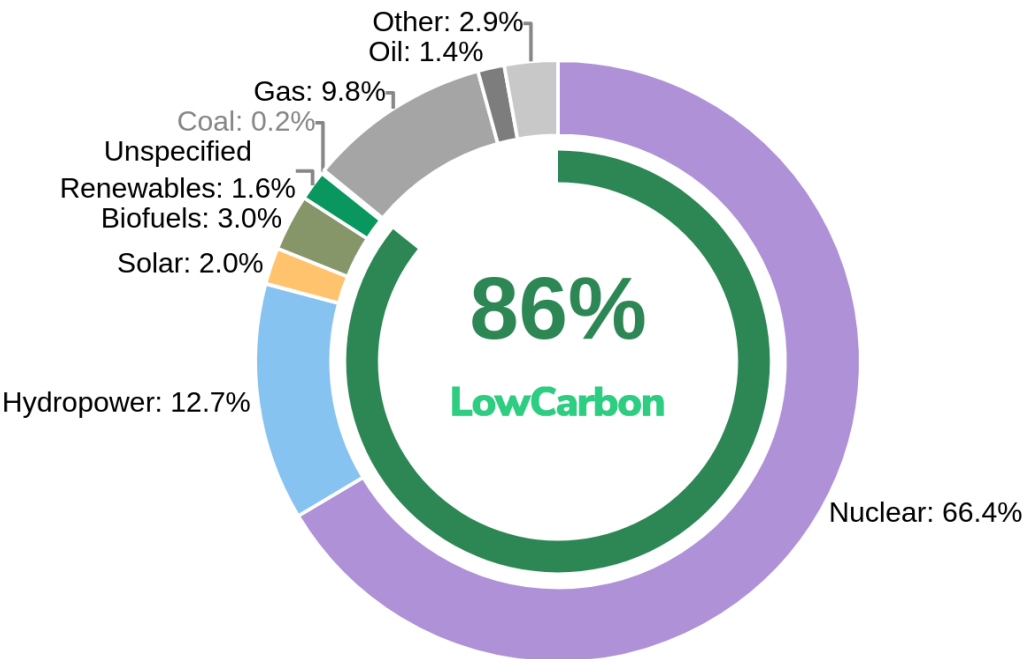
Orientačný 3D model navrhnutého simulátora (Obr. 24)

Logický diagram SCRAMu pre RSG-GAS reaktorový bezpečnostný systém (Obr. 25)

3D model ktorý na ktorom je založený náš 3D model (Obr. 26)

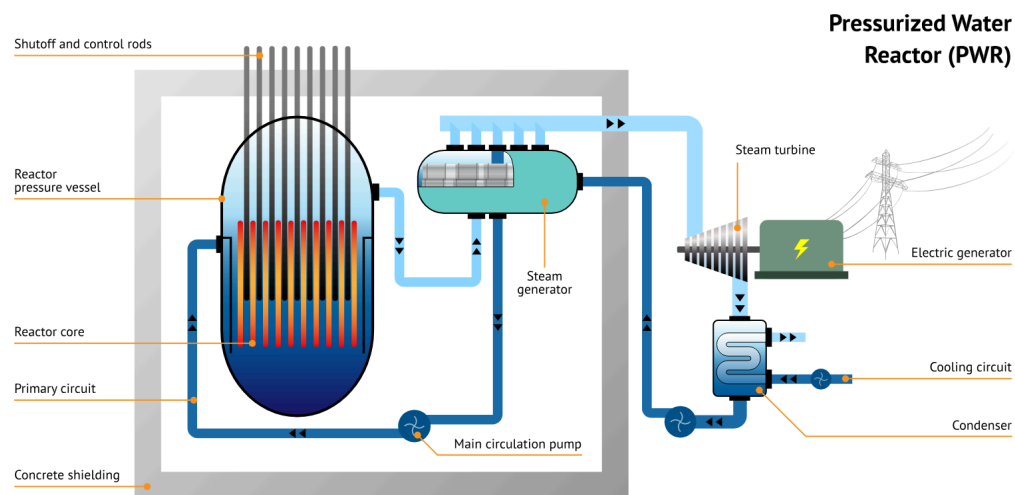
Electricity generation in

Slovakia in 2025



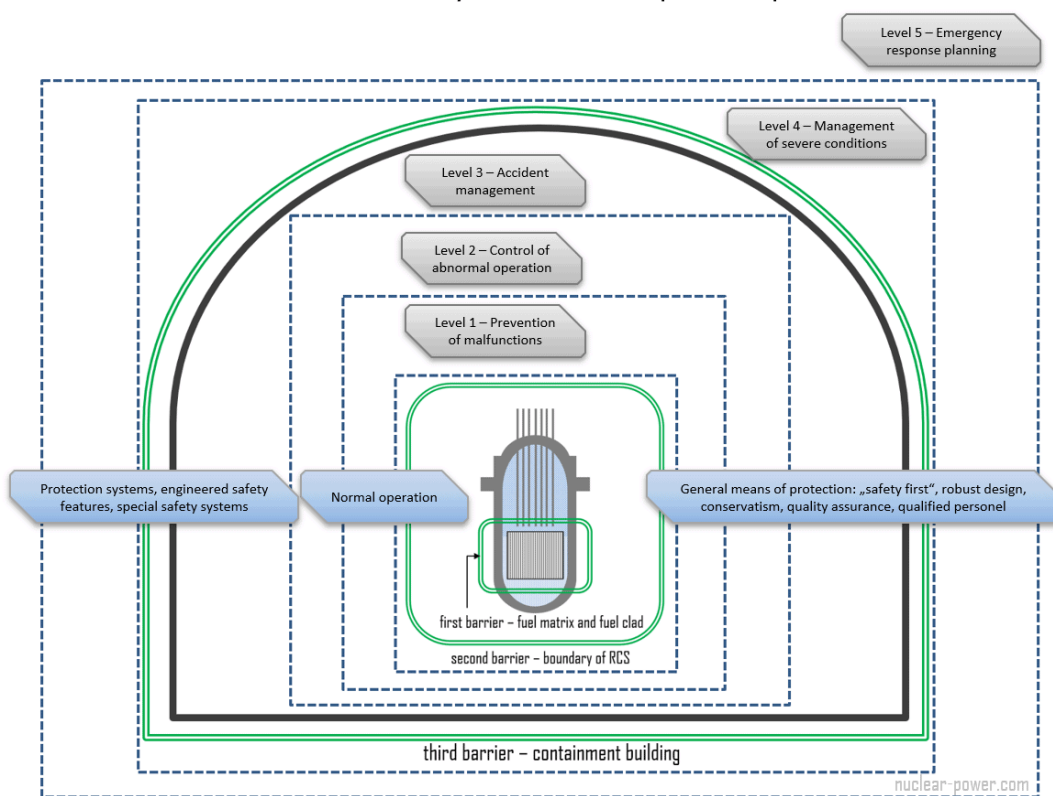
lowcarbonpower.org/r/SK

(Obr. 1)



(Obr. 2)

Nuclear Safety – Defence-in-depth Principle



(Obr. 3)

1. Základné informácie a demografia

1. Vek *

- ☒ 15-25
☐ 26-45
☐ 46-65
☐ 65+

2. Moje vedomosti, poznatky, znalosti v oblasti jadrovej energie sú *

- | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
|---------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| Orientujem sa veľmi dobre | ☐ | ☒ | ☐ | ☐ | ☐ | Vôbec sa v tejto problematike neorientujem |

3. Pohlavie *

- ☒ Muž
☐ Žena
☐ Iné:

4. Aké je Vaše najvyššie dosiahnuté vzdelanie a študijné zameranie? *

- ☒ Stredoškolské – technické zameranie (elektrotechnika, energetika, strojárstvo a pod.)
☐ Stredoškolské – iné zameranie (gymnázium, obchodná, hotelová akadémia, zdravotná škola atď. a pod.)
☐ Vysokoškolské – technické zameranie (jadrová fyzika, energetika, IT, technika a pod.)
☐ Vysokoškolské – iné zameranie (humanitné smery, lekárske, ekonomické a pod.)
☐ Základné vzdelanie / Študent základnej školy
☐ Iné:

(Obr. 4)

5. Ako ďaleko bývate od najbližšej jadrovej elektrárne (napr. od elektrárne v Mochovciach alebo Jaslovských Bohuniciach)? *

- ☐ Do 20 km
- ☐ 20 – 50 km
- ☐ Viac ako 50 km
- ☒ Neviem

2. Postoje a subjektívne vnímanie jadrovej energie

6. Ktorý z nasledujúcich uvedených zdrojov najviac ovplyvňuje Váš názor na jadrovú energiu?

- ☐ Dokumentárne filmy a vedecké články
- ☒ Správy v médiách a na internete
- ☒ Školské vzdelávanie
- ☐ Filmová a popkultúrna tvorba (napr. seriál Černobyl, Simpsonovci)
- ☐ Iné:

7. Nakoľko bezpečná je prevádzka modernej jadrovej elektrárne?

- | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| Maximálne bezpečná | ☐ | ☒ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | Nebezpečná |

(Obr. 5)

8. Ktorá z uvedených možností vo Vás vzbudzuje najväčšie obavy pri slove „jadrová energia“? Môžete označiť viaceré možnosti.

- ☐ Jadrová havária (Černobyl, Fukušima a pod.)
- ☒ Nebezpečenstvo jadrového odpadu (Nebezpečenstvo kontaktu alebo pemiesťovanie odpadu)
- ☒ Dlhodobé uskladnenie odpadu (obava z toho, kam s vyhoreným palivom na tisíce rokov)
- ☐ Ľudský faktor (obava z chyby operátora alebo nedostatočnej údržby)
- ☒ Zneužitie jadrovej energie na vojenské účely (riziko šírenia jadrových zbraní alebo terorizmu).
- ☐ Negatívny vplyv na životné prostredie (napr. pri ťažbe uránu alebo vypúšťaní oteplenej vody do riek).
- ☐ Nemám žiadne obavy.
- ☐ Iné:

3. Vedomostný test – Mýty verzus realita

9. Čo podľa Vás tvorí „biely dym“, ktorý vychádza z veľkých chladiacich veží elektrární?

- ☒ Vodná para (čistá voda)
- ☐ Skleníkové plyny a CO₂
- ☐ Rádioaktívne výpary
- ☐ Neviem
- ☐ Iné:

10. Myslíte si, že je možné, aby moderný jadrový reaktor vybuchol ako atómová bomba?

- ☐ Áno
- ☒ Nie
- ☐ Neviem

(Obr. 6)

11. Čo bolo hlavnou príčinou zlyhania jadrových reaktorov v minulosti? Môžete označiť viaceré možnosti.

- ☒ Zlyhanie technológií
- ☒ Chyba operátora/človeka
- ☒ Prírodná katastrofa
- ☐ Neviem
- ☐ Iné:

12. V akej forme sa nachádza najnebezpečnejší jadrový odpad (vyhorené palivo)?

- ☐ Tekutý zelený sliz v žltých sudoch
- ☒ Pevné kovové tyče s keramickým vnútorným jadróm
- ☐ Nebezpečne rádioaktívny plyn
- ☐ Neviem
- ☐ Iné:

4. Edukačné okienko – Náš projekt a simulátor

Model jadrovej elektrárne: Od atómu k elektrine

Tento simulátor odкрýva vnútro modernej elektrárne a vysvetľuje cestu čistej energie od reaktora až po chladiace veže.

Čo na modeli uvidíte?

- **Bezpečné srdce:** Vľavo vidíte reaktor a parogenerátory uzavreté v masívnej ochrannnej obálke. Model ukazuje, že jadrový proces je bezpečne izolovaný viacerými bariérami z ocele a betónu.
- **Výroba energie (Strojovňa):** V pravej časti uvidíte turbínu a generátor. Ukazuje, ako čistá para roztáča lopatky turbíny a mení mechanickú silu na elektrinu pre tisíce domácností.
- **Oddelené okruhy:** Farebné potrubia demonštrujú kľúčový princíp: voda, ktorá chladí palivo, sa nikdy nemieša s vodou, ktorá poháňa turbínu. Týmto vizuálne potvrdzujeme čistotu celého procesu.
- **Ekologické chladenie:** Dominantné veže v pozadí vypúšťajú do ovzdušia len čistú vodnú paru, nie dym. Model zdôrazňuje, že jadrová energia funguje bez emisií CO₂ a ochráni našu klímu.

„Náš model mení zložitú technológiu na jasný príbeh. Ukazujeme, že bezpečnosť moderného jadra sa nespolieha na náhodu, ale na nezlyhávajúce fyzikálne zákony.“

(Obr. 7)

5. Zhodnotenie prínosu a záver

13. Zmenil by náš model - Model Jadrovej elektrárne Vaše predchádzajúce odpovede?

- ☒ Áno
- ☐ Skôr áno
- ☐ Skôr nie
- ☐ Nie
- ☐ Neviem

14. Mali by sa takéto názorno-demonštračné, interaktívne modely používať na školách pri odbornej výučbe jadrovej energetiky?

- ☒ Áno
- ☐ Nie
- ☐ Skôr áno
- ☐ Skôr nie
- ☐ Neviem

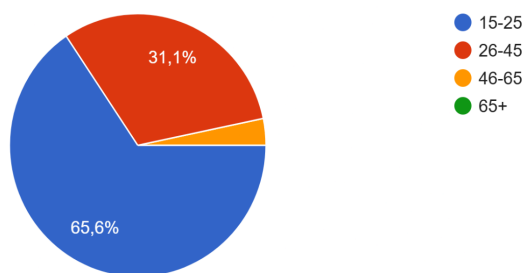
15. Ak by ste si mohli náš simulátor prakticky vyskúšať v rámci výučby a dospeli by ste k zisteniu, že využívanie jadrovej energie je bezpečné, zvýšil by sa Váš pocit bezpečia ohľadom fungovania jadrových elektrární?

- ☒ Áno
- ☐ Skôr áno
- ☐ Skôr nie
- ☐ Nie
- ☐ Neviem
- ☐ Iné:

(Obr. 8)

1. Vek

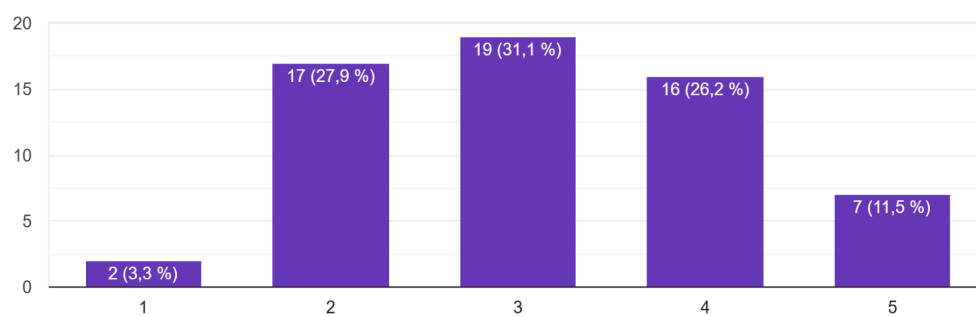
61 odpovedí



(Obr. 9)

2. Moje vedomosti, poznatky, znalosti v oblasti jadrovej energie sú

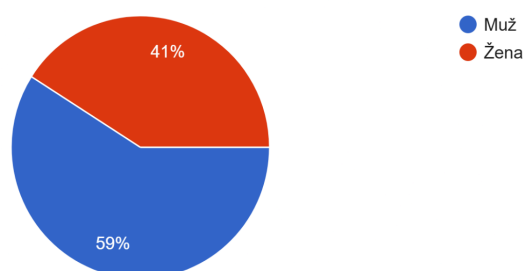
61 odpovedí



(Obr. 10)

3. Pohlavie

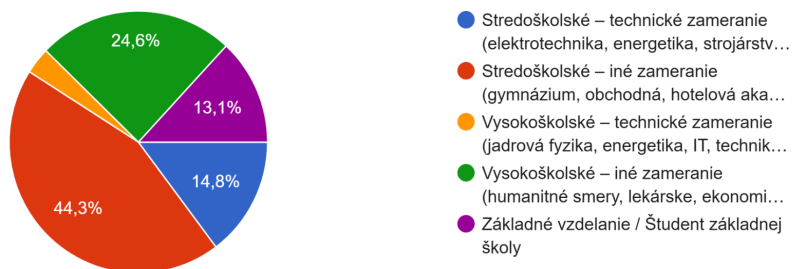
61 odpovedí



(Obr. 11)

4. Aké je Vaše najvyššie dosiahnuté vzdelanie a študijné zameranie?

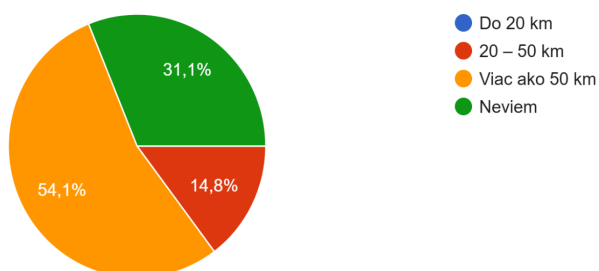
61 odpovedí



(Obr. 12)

5. Ako ďaleko bývate od najbližšej jadrovej elektrárne (napr. od elektrárne v Mochovciach alebo Jaslovských Bohuniciach)?

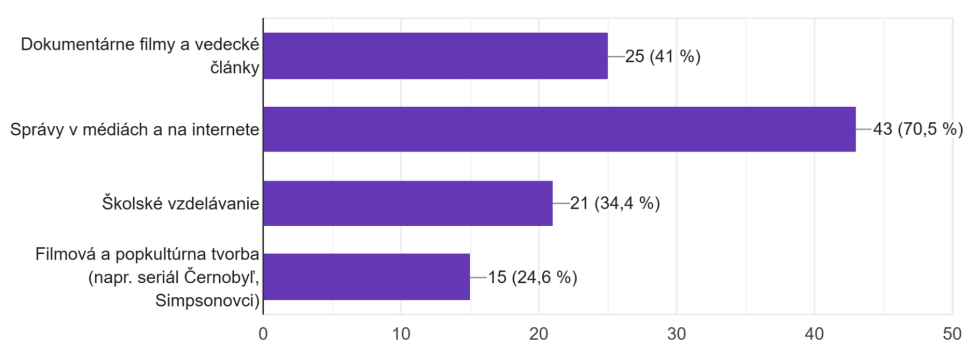
61 odpovedí



(Obr. 13)

6. Ktorý z nasledujúcich uvedených zdrojov najviac ovplyvňuje Váš názor na jadrovú energiu?

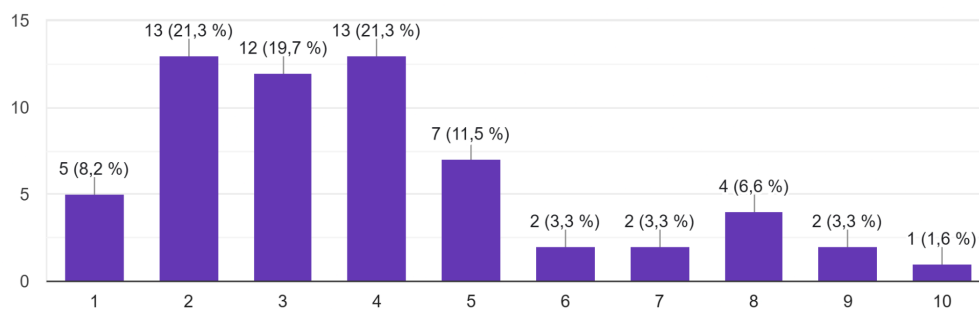
61 odpovedí



(Obr. 14)

7. Nakoľko bezpečná je prevádzka modernej jadrovej elektrárne?

61 odpovedí

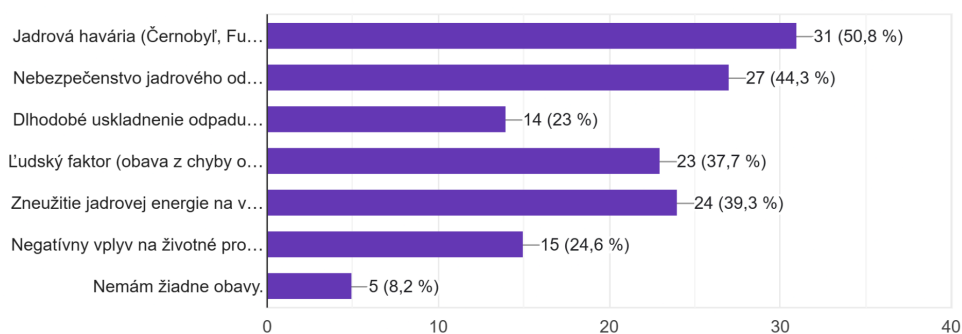


(Obr. 15)

8. Ktorá z uvedených možností vo Vás vzbudzuje najväčšie obavy pri slove „jadrová energia“?

Môžete označiť viaceré možnosti.

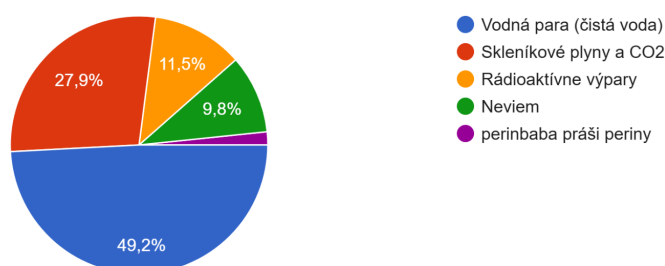
61 odpovedí



(Obr. 16)

9. Čo podľa Vás tvorí „biely dym“, ktorý vychádza z veľkých chladiacich veží elektrární?

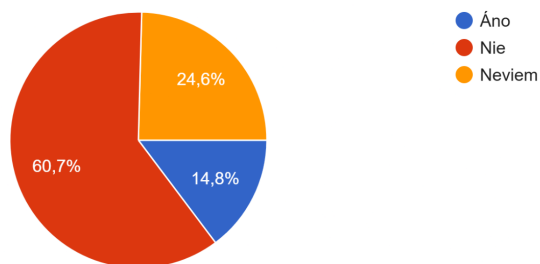
61 odpovedí



(Obr. 17)

10. Myslíte si, že je možné, aby moderný jadrový reaktor vybuchol ako atómová bomba?

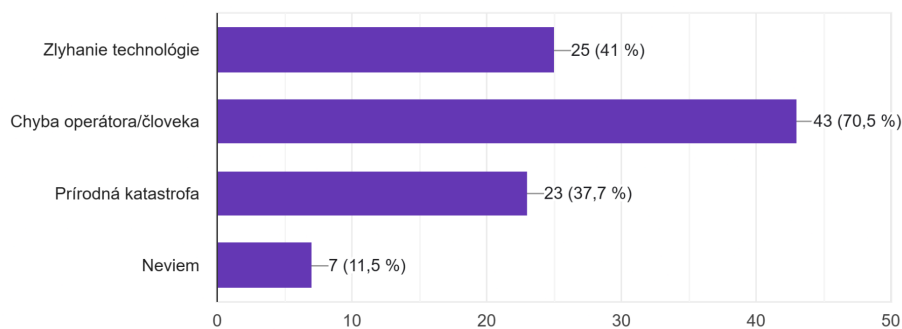
61 odpovedí



(Obr. 18)

11. Čo bolo hlavnou príčinou zlyhania jadrových reaktorov v minulosti? Môžete označiť viaceré možnosti.

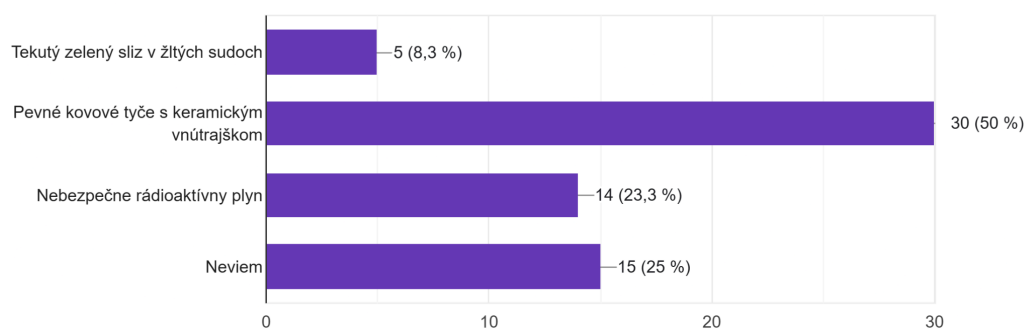
61 odpovedí



(Obr. 19)

12. V akej forme sa nachádza najnebezpečnejší jadrový odpad (vyhorené palivo)?

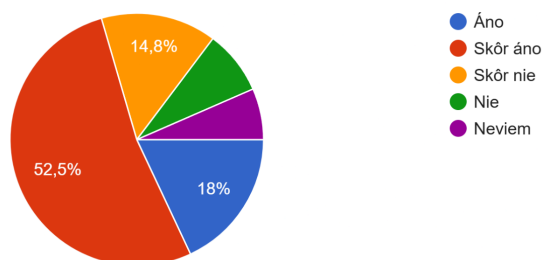
60 odpovedí



(Obr. 20)

13. Zmenil by náš model - Model Jadrovej elektrárne Vaše predchádzajúce odpovede?

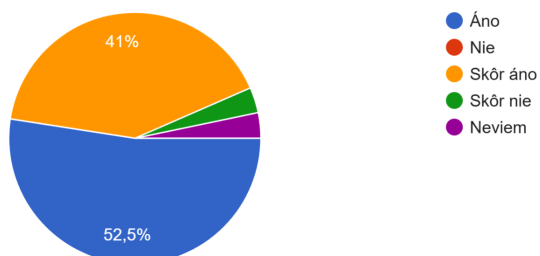
61 odpovedí



(Obr. 21)

14. Mali by sa takéto názorno-demonštračné, interaktívne modely používať na školách pri odbornej výučbe jadrovej energetiky?

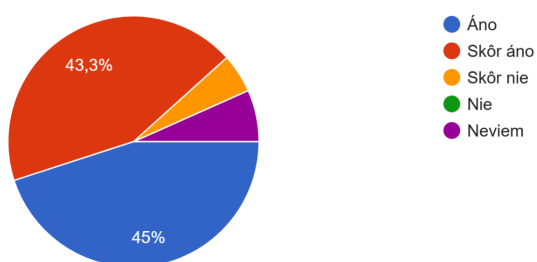
61 odpovedí



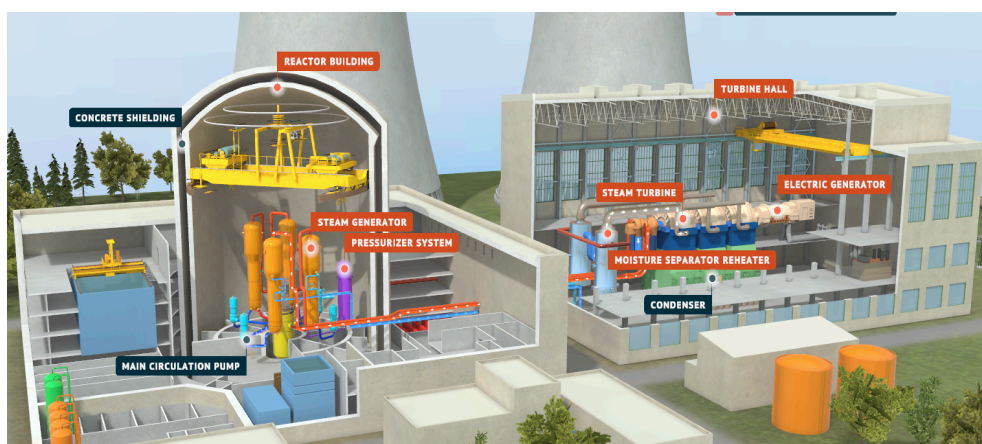
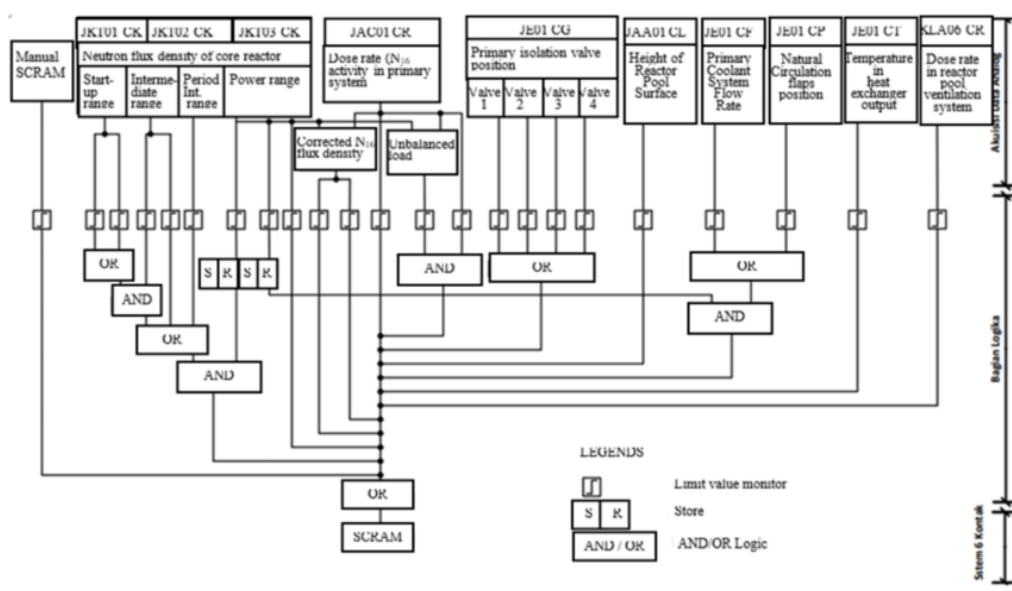
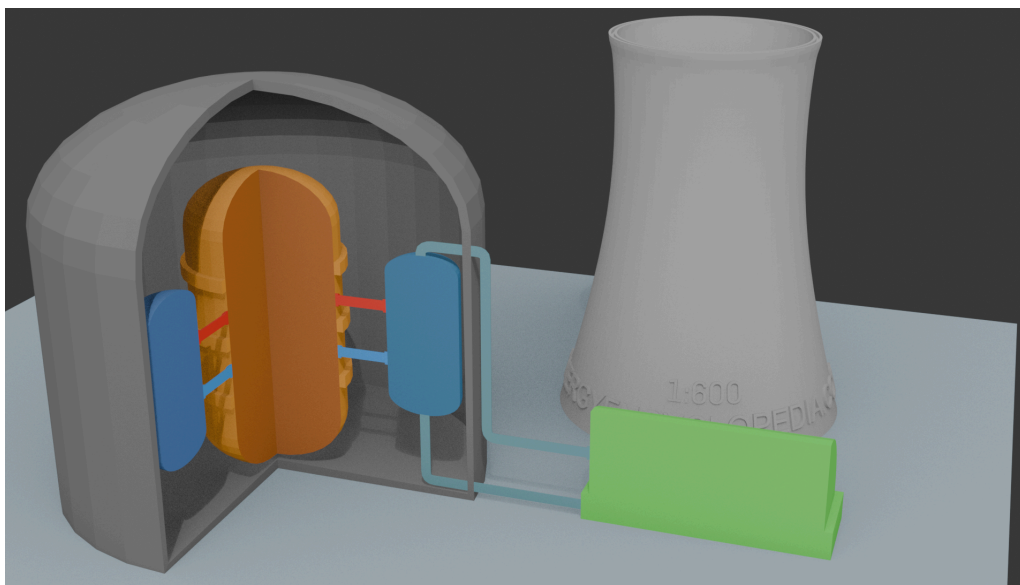
(Obr. 22)

15. Ak by ste si mohli náš simulátor prakticky vyskúšať v rámci výučby a dospeli by ste k zisteniu, že využívanie jadrovej energie je bezpečné, zvýšil by ...ezpečia ohľadom fungovania jadrových elektrární?

60 odpovedí



(Obr. 23)



Tabuľka 1 Predpokladaný finančný rozpočet - Konštrukcia

Položka	Odhadovaná cena
Základná elektronika (mikrokontrolér, vodiče, breadboard, napájanie)	25 - 35 €
Mechanické komponenty (servomotory, regulačné tyče)	20 - 30 €
LED pásiky, LED diódy a iné indikátory	15 - 25 €
Sedemsegmentové displeje a ručičkové prístroje	20 - 35 €
Potenciometre, senzory a ostatná elektronika	15 - 20 €
Materiál na 3D tlač (konštrukcia tela reaktora a komponentov)	15 - 25 €
Materiál na radiaci panel (skrínka, tlačidlá, prepínače, konektory)	25 - 40 €
Spojovací materiál, lepidlá, povrchová úprava	10 - 15 €
Medzisúččet	145 - 225 €

Tabuľka 2 Predpokladaný finančný rozpočet - Prevádzka a logistika

Položka	Odhadovaná cena
Prepravný obal	30 - 50 €
Cestovné náklady na sezónu prezentácii	40 - 80 €
Tlač informačných materiálov a plagátov pre školy	15 - 25 €
Komunikácia so školami (prípadné administratívne poplatky)	5 - 10 €
Rezerva na neplánované výdavky a náhradné komponenty	20 - 30 €
Medzisúččet	110 - 195 €

Tabuľka 3 Predpokladaný finančný rozpočet - Náklady na jednu jednotku

Položka	Odhadovaná cena
Materiál a komponenty (úspora pri hromadnom nákupe)	100 - 160 €

Prepravný obal pre jednu jednotku	30 - 50 €
Distribúcia jednotky do školy	20 - 40 €
Tréningové materiály pre pedagógov	10 - 15 €
Medzisúččet	160 - 265 €

Tabuľka 4 Predpokladaný finančný rozpočet - Jednorázové náklady

Položka	Odhadovaná cena
Vývoj a výroba prvého prototypu	145 - 225 €
Príprava tréningového programu pre pedagógov	30 - 60 €
Komunikácia so školami a administratíva	10 - 20 €
Rezerva na neplánované výdavky	50 - 80 €
Medzisúččet	235 - 385 €