

Stredná priemyselná škola dopravná

Sokolská 911/94, 960 01 Zvolen

Veľvyslanectvo mladých

NÁZOV PRÁCE:

**"INTELIGENTNÝ UZOL" AKO PREPOJENIE
HISTÓRIE S HI-TECH BUDÚCNOSŤOU**

TÉMA:

**JADROVÁ ELEKTRÁREŇ - HROZBA PRE MOJU BUDÚCNOSŤ
ALEBO ČISTÝ A SPOĽAHLIVÝ ZDROJ ENERGIE**

spoluautori:

Andrej Sámel

Sebastián Mlynarčík

tretí ročník štúdia

Zvolen 2026

OBSAH

ÚVOD	6
1 CIELE PRÁCE.....	7
1.1 ANALÝZA JADRA A JEHO VYUŽITIE V HYBRIDNOM SYSTÉME.....	7
1.2 JADROVÁ ELEKTRÁREŇ AKO KLÚČ K BEZPEČNEJ A PROSPERUJÚCEJ EURÓPE	7
1.3 VÝROBA INTERAKTÍVNEHO MODELU	7
1.4 EDUKAČNÁ PREZENTÁCIA, INTERNETOVÁ STRÁNKA A DIDAKTICKÝ KVÍZ.....	7
2 HISTORICKÝ KONTEXT A PSYCHOLÓGIA STRACHU	8
2.1 ČERNOBYĽ (1986) - ZLYHANIE SYSTÉMU A ABSENCIA BARIÉR.....	8
2.2 FUKUŠIMA (2011) - PONAUCENIE Z PRÍRODNEJ KATASTROFY	9
2.3 TEMELÍN A BOHUNICE - STRACH VERZUS LOKÁLNA REALITA	9
2.4 PSYCHOLÓGIA RIZIKA - PREČO SA BOJÍME VIAC, NEŽ JE RACIONÁLNE?	10
2.5 ŠTATISTICKÁ REALITA - NAJBEZPEČNEJŠÍ ZDROJ NA SVETE?	10
3 TECHNICKÁ BEZPEČNOSŤ: OD AKTÍVNEJ K PASÍVNEJ OCHRANE ...	12
3.1 PRINCÍP ČINNOSTI	12
3.2 KONCEPCIA HĽBKOVEJ OCHRANY: ŠTYRI NEPRIESTRELNÉ BARIÉRY	15
3.3 STAROSTLIVOSŤ O ZAMESTNANCOV - ČLOVEK AKO GARANT BEZPEČNOSTI	16
3.3.1 Vzdelávanie na plnorozmerných simulátoroch	16
3.3.2 Rekondičné pobyty a psychohygiena.....	16
3.4 PASÍVNE SYSTÉMY: KEĎ BEZPEČNOSŤ RIADI GRAVITÁCIA	17
3.5 LAPAČ AKTÍVNEJ ZÓNY (CORE CATCHER).....	17
3.6 KYBERNETICKÁ BEZPEČNOSŤ A DIGITALIZÁCIA (SÚVIS S AI)	18

4	VYHORENÉ PALIVO - ODPAD ALEBO ENERGETICKÁ REZERVA?	19
4.1	RECYKLÁCIA A PALIVO MOX, TRANSMUTÁCIA A REAKTORY 4. GENERÁCIE	19
4.2	SITUÁCIA NA SLOVENSKU A EKONOMICKÝ A ETICKÝ ROZMER	20
5	HYBRIDNÝ ENERGETICKÝ SYSTÉM - JADRO, VODÍK, GRAVIMOBIL A VODA.....	21
5.1	JADROVÁ ELEKTRÁREŇ AKO STABILNÉ SRDCE SYSTÉMU	21
5.2	VÝROBA RUŽOVÉHO VODÍKA, ROVNAKO ČISTÉHO AKO ZELENÝ, AKO PALIVO PRE ČISTÚ BUDÚCNOSŤ	21
5.3	GRAVIMOBIL - GRAVITAČNÁ BATÉRIA V SLUŽBÁCH SIETE A PVE.....	22
5.4	SYNERGIA TECHNOLOGIÍ - MODEL „INTELIGENTNÉHO UZLA“ ..	23
6	EKONOMICKÁ ANALÝZA SYSTÉMOV AKUMULÁCIE - POROVNANIE LCOS.....	24
7	PRAKTICKÁ REALIZÁCIA - EDUKAČNÝ MODEL A DEMONŠTRÁCIA SYNERGIE TECHNOLOGIÍ	25
7.1	FILOZOFIA MODELU - OD „HROZBY“ K POCHOPENIU	25
7.2	TECHNICKÝ POPIS VYTVORENÉHO MODELU.....	25
7.3	PRIEBEH PREZENTÁCIE A METODIKA VÝKLADU	27
8	FINANČNÉ ZHODNOTENIE	29
9	ZÁVER	30
10	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	32
11	FOTOGALÉRIA.....	33

ÚVOD

Je jadro hrozbou, alebo záchranou? Okrem hladu umelej inteligencie čelíme klimatickej kríze, geopolitickej nestabilite a limitom obnoviteľných zdrojov. Cieľom práce je analyzovať jadrovú energetiku v synergii s ružovým vodíkom a gravitačnou batériou GraviMobilom ako nástroj technologickej suverenity Slovenska. Štruktúra práce prepojením bezpečnosti a inovatívnej akumulácie odpovedá na otázku, či dokážeme transformovať historické obavy na čistý, predvídateľný a bezpečný pilier našej budúcnosti, ktorý odolá vonkajším hrozbám i energetickým výkyvom.

1 CIELE PRÁCE

1.1 ANALÝZA JADRA A JEHO VYUŽITIE V HYBRIDNOM SYSTÉME

Hlavným cieľom práce je predstaviť a odborne analyzovať koncept jadrovej elektrárne nie ako izolovaného statického zdroja, ale ako dynamického srdca hybridného energetického ekosystému. Tento systém v sebe spája stabilitu jadrovej štiepnej reakcie, inovatívnu akumuláciu v systéme GraviMobil a výrobu ružového vodíka, čím vytvára odpoveď na kritické výzvy moderného Slovenska.

1.2 JADROVÁ ELEKTRÁREŇ AKO KLÚČ K BEZPEČNEJ A PROSPERUJÚCEJ EURÓPE

Hlavné aspekty, ktoré vysvetľujú výrobu jadrovej energie, jej bezpečnosť, nakladanie s jadrovým odpadom, stupne zabezpečenia a ochrany. Porovnanie s výrobou energie z rôznych zdrojov.

1.3 VÝROBA INTERAKTÍVNEHO MODELU

Zámerom práce je predložiť komplexný argumentačný materiál, ktorý potvrdzuje, že spojenie Jadro + GraviMobil + Vodík nie je len technologickou víziou, ale fyzikálnou a ekonomickou nutnosťou. Výsledkom práce bude model, ktorý premení obavy z jadrovej energie na pochopenie jej nezastupiteľnej úlohy pri budovaní čistej, spoľahlivej a inteligentnej energetickej budúcnosti pre našu generáciu.

1.4 EDUKAČNÁ PREZENTÁCIA, INTERNETOVÁ STRÁNKA A DIDAKTICKÝ KVÍZ

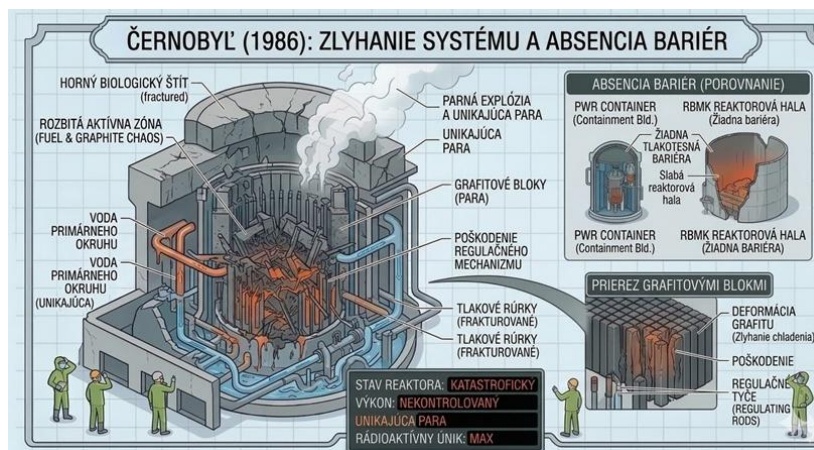
Prezentovať výsledky práce pre žiakov prvého ročníka strednej školy, zábavné overenie ich získaných vedomostí pomocou kvízu Jadrová energia – hrozba alebo budúcnosť? Vytvoriť internetovú stránku www.nuclearenergy.sk.

2 HISTORICKÝ KONTEXT A PSYCHOLÓGIA STRACHU

Pojem „jadrová energia“ v mnohých ľuďoch okamžite vyvoláva obrazy apokalypsy, opustených miest a neviditeľnej smrti. Tento strach nie je náhodný, je produktom historických udalostí, studenej vojny a spôsobu, akým náš mozog vyhodnocuje riziká. V tejto kapitole analyzujeme tri kľúčové piliere tohto strachu a postavíme ich do kontrastu so štatistickými dátami.

2.1 ČERNOBYL' (1986) - ZLYHANIE SYSTÉMU A ABSENCIA BARIÉR

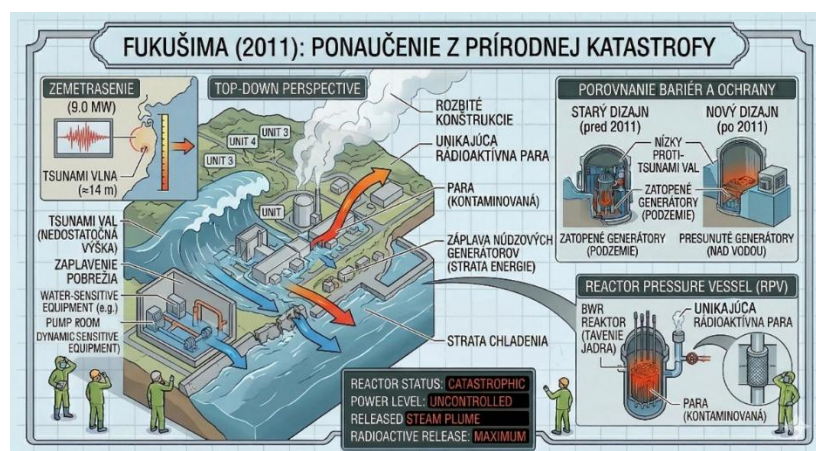
Černobyľská havária je „zlým snom“ jadrovej energetiky. Išlo o kombináciu fatálnych konštrukčných chýb sovietskeho reaktora RBMK a hrubého porušenia bezpečnostných predpisov personálom. Kľúčové faktory zlyhania sú: kladný dutinový koeficient - pri strate chladiva výkon reaktora nekontrolovane rástol (dnešné reaktory majú tento koeficient záporný – pri strate vody sa reakcia zastaví), absencia kontajntmentu - reaktor nemal ochrannú betónovú obálku. Výbuch tak vyvrhol rádioaktívny materiál priamo do atmosféry, ľudský faktor - experiment zameraný na bezpečnosť paradoxne viedol ku katastrofe kvôli utajovaniu informácií a tlaku na výkon.



Obr.1: Černobyľská havária

2.2 FUKUŠIMA (2011) - PONAUCENIE Z PRÍRODNEJ KATASTROFY

Havária v japonskej Fukušime ukázala, že aj technicky vyspelá krajina môže zlyhať pri podcenení extrémnych prírodných vplyvov. Zemetrasenie nespôsobilo haváriu (reaktory sa bezpečne vyplli). Katastrofu spôsobila vlna tsunami, ktorá zaplavila dieselové generátory umiestnené v nízkej nadmorskej výške. Bez elektriny nebolo možné chladiť zvyškové teplo v reaktoroch, čo viedlo k pretlaku a výbuchom vodíka. Podľa správy OSN (UNSCEAR) vo Fukušime nikto nezomrel na následky priameho ožiarenia. Väčšina obetí bola spojená s fyzickým stresom z evakuácie a samotnou vlnou tsunami.



Obr.2: Fukušima – katastrofa v dôsledku tsunami

2.3 TEMELÍN A BOHUNICE - STRACH VERZUS LOKÁLNA REALITA

Temelín je v našej práci príkladom psychologickéj a politickej hrozby. Počas jeho spúšťania v roku 2000 vyvolával masívne protesty v Rakúsku. Odporcovia ho nazývali „atómom smrti“. Po 25 rokoch bezpečnej prevádzky sa však ukázalo, že išlo o politický naratív. Temelín (VVER-1000) kombinuje robustnú ruskú konštrukciu so špičkovými západnými riadiacimi systémami (Westinghouse).

Spomenieme si Jaslovské Bohunice A-1 (1977). Išlo o jedinú vážnu haváriu v Československu (úroveň 4 na stupnici INES). Príčinou bola chyba pri zavážaní paliva. Táto udalosť viedla k ukončeniu prevádzky typu A-1 a k prechodu na bezpečnejšie tlakovodné reaktory VVER, ktoré používame dodnes.

2.4 PSYCHOLÓGIA RIZIKA - PREČO SA BOJÍME VIAC, NEŽ JE RACIONÁLNE?

Psychológ Paul Slovic definoval fenomén „Dread Risk“ (Desivé riziko). Ľudský mozog vyhodnocuje riziká podľa dvoch kritérií. Prvé – nekontrolovateľnosť. Máme pocit, že nad jadrom nemáme kontrolu (na rozdiel od šoférovanía auta, kde sa cítime bezpečne, hoci je to tisíckrát nebezpečnejšie). Druhé - katastrofický potenciál. Bojíme sa udalostí, ktoré môžu zabiť veľa ľudí naraz na jednom mieste, hoci je ich pravdepodobnosť takmer nulová. Ignorujeme však riziká, ktoré zabíjajú po jednom a neustále (znečistenie z uhlia).

Vizuálne jadrová elektrárňa vďaka chladiacim vežiam, ktoré majú výšku niekoľko desiatok metrov pôsobí hrozivo, pre laikov. Je to jedinečný obraz elektrárne, ktorý sa pri iných druhoch nevyskytuje a je viditeľný z veľkej diaľky. A práve táto skutočnosť niekedy pôsobí na človeka nebezpečne a odstrašujúco. Chladiace veže však obsahujú vodnú paru.

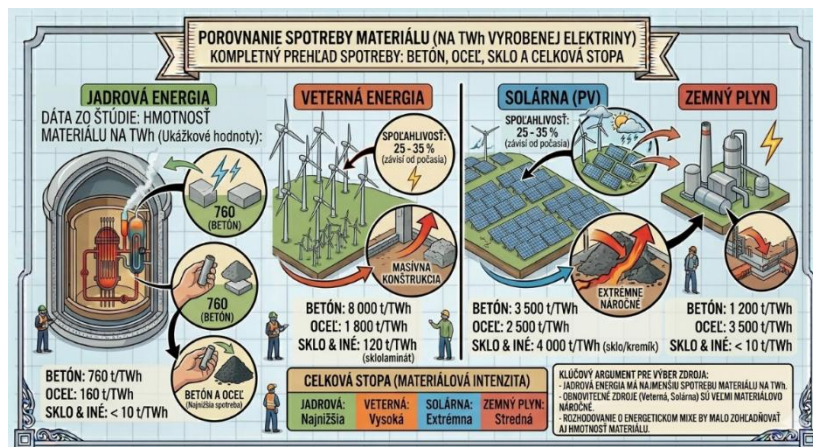
2.5 ŠTATISTICKÁ REALITA - NAJBEZPEČNEJŠÍ ZDROJ NA SVETE?

BEZPEČNOSŤ ENERGETICKÝCH ZDROJOV: SMRTELNOSŤ NA TWh		
ZDROJ ENERGIE	SMRTELNOSŤ (na Terawatthodinu, TWh)	POZNÁMKA A RIZIKÁ
Uhlie	24,6	(priemyselné choroby, smog, nehody v baniach)
Ropa	18,4	(nehody pri ťažbe)
Biomasa	4,6	
Veterná energia	0,04	
Jadrová energia	0,03	(vrátane všetkých havárií v histórii)

ZDROJ ÚDAJOV: ŠTÚDIE O SMRTELNOSTI V ENERGETIKE (Poznámka: Nižšia hodnota = Vyššia bezpečnosť)

Obr.3: Počet úmrtí na jednu vyprodukovanú Terawatthodinu (TWh) energie

Ak by sme celú svetovú produkciu elektriny nahradili jadrom, zachránili by sme ročne státisíce životov, ktoré dnes predčasne končia kvôli splodinám z fosílnych palív. Jadro teda nie je hrozbou, ale štatistickým záchrancom.



Obr. 4: Porovnanie energetických zdrojov

Dôvod, prečo je jadrová energetika materiálovo efektívna, tkvie v jej extrémnej energetickej hustote. Jadrové palivo koncentruje miliónkrát viac energie v jednotke hmotnosti než fosílna palivá a tisíckrát viac než systémy zachytávajúce energiu z prostredia (vietor, slnko). Kým solárny panel alebo veterná turbína pracujú s „rozptýlenou“ energiou a na dosiahnutie vysokého výkonu vyžadujú obrovské plochy a množstvo zberných zariadení, jadrový reaktor koncentruje obrovský výkon do malého priestoru.

3 TECHNICKÁ BEZPEČNOSŤ: OD AKTÍVNEJ K PASÍVNEJ OCHRANE

Ak chceme skutočne pochopiť, prečo je jadrová elektrárňa čistým zdrojom, musíme prekročiť prah reaktorovej sály a pozrieť sa na technológie, ktoré sú bežnému oku skryté. Vnútro elektrárne je rozdelené na hermetickú zónu reaktora a strojovňu, na výrobu elektriny. Pochopenie toho, čo sa deje vo vnútri jadrovej elektrárne, je kľúčom k dekonštrukcii strachu. Moderná jadrová elektrárňa, typu VVER, akú máme na Slovensku nie je „čiernou skrinkou“, ale precízne riadeným prostredím, kde sa energia získava z najmenších častíc hmoty za prísne kontrolovaných podmienok.

3.1 PRINCÍP ČINNOSTI

Ako jadro vyrába elektrinu? Jadrová elektrárňa je v podstate tepelná elektrárňa, v ktorej fosílny kotol nahradil jadrový reaktor. Základom celého komplexu je tlaková nádoba reaktora. Ide o mohutný oceľový valec s výškou okolo 12 metrov a hrúbkou stien až 20 cm. Vnútri sa nachádza aktívna zóna, v ktorej je v presne definovanej geometrii usporiadaných niekoľko stoviek palivových kaziet. V každej kazete sú stovky palivových prútov naplnených uránovými tabletami. Pohľad do vnútra otvoreného reaktora, počas výmeny paliva, odhaľuje fascinujúce modré svetlo – Čerenkovovo žiarenie. Toto svetlo vzniká, keď nabité častice prechádzajú vodou rýchlosťou vyššou, než je rýchlosť svetla. Je to vizuálny dôkaz obrovskej energie, ktorú máme pod kontrolou. Celý proces transformácie energie prebieha v troch oddelených okruhoch, čo je samo o sebe prvým bezpečnostným prvkom, ktorý bráni úniku rádioaktivity do životného prostredia. Slovenská energetika sa opiera o technológiu tlakovodných reaktorov.

Vnútri reaktora prebieha riadená reťazová štíepna reakcia. Jadrom sú palivové tablety z oxidu uraníčitého, ktoré sú naskladané v prútoch zo zirkóniovej zliatiny. Tieto prúty tvoria palivové kazety. Naše reaktory používajú ako moderátor, látku spomaľujúcu neutróny, a zároveň chladivo obyčajnú vodu. Toto je kľúčový bezpečnostný prvok - ak sa voda stratí alebo sa začne príliš vyparovať, reakcia sa prirodzene spomalí alebo zastaví. Aby bola elektrárňa čistá a bezpečná, proces výroby elektriny je rozdelený do troch striktno oddelených okruhov.

Toto oddelenie garantuje, že látky, ktoré prišli do kontaktu s jadrovým palivom, sa nikdy nedostanú do turbíny a už vôbec neopustia budovu elektrárne. V tesnej blízkosti reaktora sa nachádzajú parogenerátory. Ak by sme sa pozreli do ich vnútra, uvideli by sme tisíce tenkých rúrok v tvare písmena „U“. Vnútri rúrok prúdi rádioaktívna voda primárneho okruhu. Okolo rúrok prúdi čistá voda sekundárneho okruhu. Vďaka tomuto usporiadaniu dochádza k odovzdaniu tepla bez toho, aby sa rádioaktívna voda zmiešala s tou čistou. Práve tu vzniká para, ktorá je „palivom“ pre turbínu.

1. Primárny okruh, jadrová časť. Srdcom elektrárne je reaktor, v ktorom prebieha riadené štiepenie jadier uránu $^{235}_{92}\text{U}$. Pri tomto procese sa uvoľňuje obrovské množstvo tepla. Toto teplo odoberá chladiaca voda, ktorá prúdi okolo palivových kaziet. Aby voda nezovrela, hoci má teplotu okolo 300 °C, je udržiavaná pod vysokým tlakom, približne 15,5 MPa. Táto horúca voda následne prúdi do výmenníka tepla – parogenerátora. Tento okruh je rádioaktívny a nachádza sa v hermeticky uzavretej ochrannej obálke, ktorá má názov kontajment.

2. Sekundárny okruh, nejadrová časť. V parogenerátore odovzdáva voda z primárneho okruhu svoje teplo vode v sekundárnom okruhu. Tu je tlak nižší, preto voda začína vriieť a mení sa na paru. Táto čistá para, ktorá nikdy neprišla do styku s rádioaktívnym palivom, poháňa lopatky turbíny. Turbína je spojená s elektrickým generátorom, ktorý premieňa kinetickú energiu na elektrický prúd.

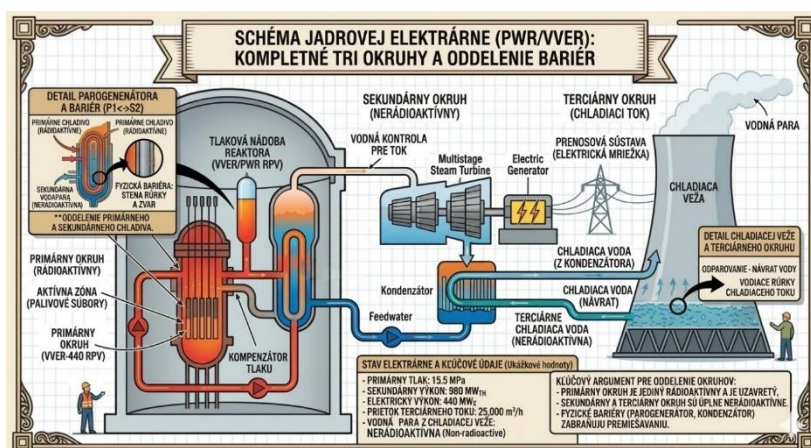
3. Terciárny okruh, chladiaca časť. Para, ktorá odovzdala svoju energiu turbíne, sa musí opäť skvapalniť v kondenzátore, aby sa mohla vrátiť späť do parogenerátora. Na toto ochladenie slúži tretí okruh, ktorého viditeľným symbolom sú chladiace veže. Odparujúca sa voda v týchto vežiach je čistá vodná para – to je ten biely „mrak“, ktorý vidíme nad elektrárnou a ktorý neobsahuje žiadne škodlivé látky.

4. Strojovňa, symfónia ocele a rotácie. Po opustení hermetickej zóny sa para dostáva do strojovne. Dominantou tohto priestoru sú turbíny. Pohľad na nich je ohromujúci – ide o obrovské rotory s lopatkami, ktoré sa točia rýchlosťou 3000 otáčok za minútu. Na jednom hriadeli s turbínou je pripojený elektrický generátor. Vo vnútri generátora rotuje magnetické pole, ktoré v medenom vinutí statora indukuje elektrický prúd.

Je to čistá fyzika v obrovskom meradle – bez dymu, bez spaľovania, bez prachu. Strojovňa jadrovej elektrárne je v porovnaní s uhoľnou elektrárnou takmer sterilné prostredie.

5. Bloková dozorná, mozog elektrárne. Ak je reaktor srdcom, bloková dozorná je mozgom. Je to miesto, kde operátori 24 hodín denne sledujú tisíce parametrov. Moderné dozorne využívajú pokročilé digitálne systémy a umelú inteligenciu na prediktívnu diagnostiku. Každý ventil, každé čerpadlo a každá riadiaca tyč má svoju odozvu na obrazovkách. Systémy sú navrhnuté tak, že akonáhle sa nejaký parameter vychýli z normy, automatika vykoná nápravu rýchlejšie, než stihne zareagovať človek.

6. Čistota prevádzky, život vnútri areálu. Pohľad zvnútra dopĺňa aj fakt, že zamestnanci elektrárne pracujú v prostredí, kde sú hygienické a bezpečnostné štandardy prísnejšie než v operačných sálach nemocníc. Každý pohyb je monitorovaný dozimetrami. Vo vnútri areálu jadrovej elektrárne sa bežne vyskytuje zdravá fauna a flóra, v areáloch slovenských elektrární často hniezdia chránené vtáky, čo je najlepší dôkaz toho, že prevádzka nemá negatívny vplyv na bezprostredné okolie.



Obr. 5: Schéma jadrovej elektrárne

3.2 KONCEPCIA HĹBKOVEJ OCHRANY: ŠTYRI NEPRIESTRELNÉ BARIÉRY

Základom bezpečnosti je, aby sa rádioaktívne látky nikdy nedostali do okolia. Systém hĺbkovej ochrany Defense-in-Depth funguje ako séria bariér, ktoré musí potenciálna porucha prekonať. Najskôr sa pozrieme na palivovú matricu. Samotné palivo je vo forme keramických tabliet (oxid uraničitý), ktoré sú extrémne odolné voči teplu a chemickým vplyvom. Väčšina rádioaktívnych látok ostáva uväznená priamo v tejto keramike. Ďalej posúdime palivový prút (povlak). Tablety sú hermeticky uzavreté v rúrkach zo zliatiny zirkónia. Táto bariéra bráni úniku štíepnych produktov do chladiacej vody. Dôležitým aspektom je tlaková hranica primárneho okruhu. Reaktorová nádoba a potrubia sú vyrobené z masívnej ocele (hrúbka steny reaktora je cca 14 - 20 cm). Je to uzavretý systém, ktorý nepustí nič von. Neposlednú úlohu odohráva kontajntment (ochranná obálka). Masívna železobetónová budova, ktorá v moderných blokoch dokáže odolať nielen vnútornému tlaku pri havárii, ale aj vonkajšiemu nárazu veľkého dopravného lietadla. Na celkovú bezpečnosť v rámci štátu dozerá Úrad jadrového dozoru.



Obr. 6: Systém hĺbkovej ochrany (Defense-in-Depth)

3.3 STAROSTLIVOSŤ O ZAMESTNANCOV - ČLOVEK AKO GARANT BEZPEČNOSTI

Jadrová elektrárň patrí k najšpecifickejším pracovným prostrediam na svete. Starostlivosť o zamestnancov tu presahuje bežné zákonné povinnosti a mení sa na sofistikovaný systém monitoringu, vzdelávania a prevencie. Cieľom je eliminovať tzv. „ľudský faktor“ ako riziko a urobiť z neho najsilnejší článok bezpečnostného reťazca. Každý zamestnanec pracujúci v tzv. kontrolovanom pásme (zóna, kde sa nachádza reaktor a primárny okruh) podlieha nepretržitému dohľadu. Každý pracovník nosí na odeve dozimeter, ktorý meria prijatú dávku žiarenia v reálnom čase. Údaje sa denne vyhodnocujú a prísne sa dbá na to, aby nikto neprekročil zlomok povolených limitov. Zamestnanci pravidelne prechádzajú kontrolným meraním na špeciálnych zariadeniach, ktoré dokážu zachytiť aj mikroskopické množstvo rádioaktívnych látok v tele. Zdravotný stav jadrových pracovníkov je monitorovaný podrobnejšie než u pilotov dopravných lietadiel pravidelnými lekárskymi prehliadkami.

3.3.1 Vzdelávanie na plnorozmerných simulátoroch

Príprava operátorov, ktorí riadia reaktor, je fascinujúci proces. Súčasťou areálov elektrární (ako sú napríklad aj naše Bohunice) je identická kópia blokovej dozorne. Operátori tu trénujú na simulátore, ktorý sa správa presne ako skutočný reaktor. Inštruktori im simulujú tisíce porúch – od banálnych až po tie najnepravdepodobnejšie scenáre. Každý operátor musí pravidelne prechádzať psychotestami a preškolením. Ich práca je postavená na disciplíne, kde sa každý povel nahlas opakuje a potvrdzuje (tzv. Three-way communication).

3.3.2 Rekondičné pobyty a psychohygienu

Práca v jadre prináša vysokú mieru zodpovednosti, čo môže viesť k stresu. Zamestnávateľia preto investujú do nadštandardných programov. Zamestnanci majú zo zákona nárok na pravidelné pobyty v kúpeľoch alebo horských strediskách na regeneráciu síl. V modernom jadrovom priemysle sa pestuje kultúra, kde sa zamestnanec nebojí priznať chybu. Ak urobí chybu a nahlási ju, nie je potrestaný, ale chyba sa analyzuje, aby sa už nikdy nezopakovala. Toto je kľúč k absolútnej bezpečnosti.

Zaujímavosť pre prvákov: V jadrovej elektrárni je čistota taká prísna, že v kontrolovanom pásme sa zamestnanci niekoľkokrát denne sprchujú a kompletne prezliekajú do špeciálnych bielych odevov. Je to pravdepodobne najčistejšie pracovisko, aké si viete predstaviť.

3.4 PASÍVNE SYSTÉMY: KEĎ BEZPEČNOSŤ RIADI GRAVITÁCIA

Najväčšou inováciou, ktorá robí jadro „čistým a bezpečným zdrojom“, sú systémy, ktoré pracujú bez elektriny a bez zásahu človeka. Nad úrovňou reaktora sú umiestnené obrovské nádrže s vodou pod tlakom dusíka. Ak by došlo k poklesu tlaku v reaktore (napr. pri prasknutí potrubia), tlak dusíka automaticky vytlačí tisíce litrov vody do jadra. Nepotrebuje žiadne čerpadlo, stačí fyzikálny rozdiel tlakov. Teplo z jadra sa dokáže odvádzať aj vtedy, ak sa zastavia všetky čerpadlá. Na základe princípu, že teplá voda stúpa nahor a studená klesá nadol, sa vytvorí samovoľné prúdenie. Moderné výmenníky tepla sú umiestnené tak, aby toto prúdenie stačilo na bezpečné dochladenie reaktora na neobmedzený čas. Na streche kontajneru sa nachádzajú systémy, ktoré pri prehriatí budovy začnú prirodzene prúdením vzduchu alebo odparovaním vody ochladzovať vnútro elektrárne. Tento systém funguje na princípe „komínového efektu“. Fyzikálnym unikátom tlakovodných reaktorov (VVER), ktoré používame na Slovensku, je ich vnútorná stabilita. Ak by sa voda v reaktore začala prehrievať, začne sa v nej tvoriť viac bubliniek. Keďže voda slúži ako moderátor (spomaľovač neutrónov), jej úbytok automaticky spomalí alebo úplne zastaví jadrovú reakciu. Reaktor sa teda „sám vypne“ len tým, že sa zohreje. To je zásadný rozdiel oproti černoobyl'skému typu reaktora, ktorý pri prehriatí zvyšoval svoj výkon.

3.5 LAPAČ AKTÍVNEJ ZÓNY (CORE CATCHER)

Pre extrémne a vysoko nepravdepodobné scenáre, kedy by došlo k roztaveniu paliva, sú najmodernejšie elektrárne vybavené tzv. lapačom taveniny. Je to obrovská nádoba pod reaktorom naplnená „obetným materiálom“ (zmes oxidov železa a hliníka). Ak by sa palivo pretavilo cez reaktorovú nádobu, lapač ho zachytí, rozriedi a bezpečne ochladí, čím zabráni jeho kontaktu s betónovým základom a podzemnými vodami.

3.6 KYBERNETICKÁ BEZPEČNOSŤ A DIGITALIZÁCIA (SÚVIS S AI)

V kontexte roku 2026 musíme spomenúť aj ochranu pred kybernetickými hrozbami. Moderné systémy riadenia a kontroly sú fyzicky oddelené od vonkajšieho internetu (tzv. Air-gap). Využitie umelej inteligencie (AI) v diagnostike umožňuje predpovedať opotrebovanie materiálov skôr, než dôjde k poruche, čo zvyšuje spoľahlivosť elektrárne na úroveň, ktorá bola v minulosti nedosiahnuteľná.

4 VYHORENÉ PALIVO - ODPAD ALEBO ENERGETICKÁ REZERVA?

Otázka jadrového odpadu je často vnímaná ako neprekonateľná prekážka pre čistú budúcnosť. Pri objektívnom pohľade však zistíme, že jadrová energetika je jediným priemyselným odvetvím, ktoré preberá plnú zodpovednosť za svoje zvyšky, presne ich monitoruje a financuje ich likvidáciu. V tejto kapitole analyzujeme cestu od vyhoreného paliva k jeho recyklácii a konečnému bezpečnému uloženiu v útrobách zeme.

Najväčším mýtom je predstava o „horách odpadu“. Vďaka extrémnej energetickej hustote uránu je objem odpadu v porovnaní s inými zdrojmi zanedbateľný. Jedna tableta uránového paliva (veľká ako článok prsta) vyprodukuje toľko energie ako 3 tony uhlia. V porovnaní, ak by človek získaval všetku svoju elektrinu počas celého života len z jadra,

To, čo dnes nazývame „vyhorené palivo“, obsahuje stále približne 95 % nevyužitej energie. Z pohľadu cirkulárnej ekonomiky ide o cenný zdroj pre budúce generácie.

4.1 RECYKLÁCIA A PALIVO MOX, TRANSMUTÁCIA A REAKTORY 4. GENERÁCIE

V súčasnosti krajiny ako Francúzsko či Rusko využívajú proces prepracovania (reprocessing). Z vyhoreného paliva sa získava zvyšný urán a plutónium, z ktorých sa vyrába nové palivo typu MOX (Mixed Oxide). Týmto spôsobom dokážeme z rovnakého množstva vyťaženej uránu získať oveľa viac energie a zároveň znížiť objem konečného odpadu.

Budúcnosť, horizont r. 2030 – 2040, patrí rýchlym reaktorom, ktoré dokážu „spaľovať“ dnešný jadrový odpad ako svoje hlavné palivo. Procesom transmutácie sa prvky s dlhým polčasom rozpadu premenia na prvky s krátkym polčasom rozpadu, čím sa doba potrebná na bezpečné izolovanie odpadu skrúti z desaťtisícov rokov na stovky.

Konečná stanica pre odpad, ktorý už nie je možné recyklovať, je hlbinné úložisko. Ide o systém bariér v stabilných skalných masívoch v hĺbke 500 metrov pod zemou. Prípadová štúdia hovorí, že Onkalo vo Fínsku je postavené v stabilnej žule, ktorá sa nepohla milióny rokov. Palivo je uzavreté v medených kontajneroch s liatinovým jadrom, obklopené bentonitovým ílom (ktorý neprepúšťa vodu) a nakoniec izolované stovkami metrov skaly.

Úložisko je navrhnuté tak, aby bezpečne izolovalo rádioaktivitu po dobu 100 000 rokov, čo je dlhšie, než trvá zaznamenaná história ľudstva.

4.2 SITUÁCIA NA SLOVENSKU A EKONOMICKÝ A ETICKÝ ROZMER

Slovensko má prepracovaný systém nakladania s rádioaktívnym odpadom, ktorý spravuje štátna spoločnosť JAVYS. Medzisklad sa nachádza vo Vyhniach/Bohuniciach. Vyhorené palivo sa po vybratí z reaktora najprv chladí v bazénoch a následne ukladá do špeciálnych kontajnerov v medzisklade, kde môže bezpečne čakať na recykláciu alebo uloženie desiatky rokov. Každá megawatthodina vyrobená v jadre obsahuje príspevok na likvidáciu odpadu. Na rozdiel od uhoľných elektrární, ktoré neplatia za škody spôsobené emisiami CO_2 , jadro si svoju „upratovaciu čatu“ platí vopred.

V tejto časti argumentujeme, že zanechanie malého objemu monitorovaného a zabezpečeného odpadu je etickejšie než vypúšťanie miliónov ton skleníkových plynov do atmosféry, ktoré nekontrolovane menia klímu planéty. Jadrový odpad je pod kontrolou, klimatická zmena nie.

5 HYBRIDNÝ ENERGETICKÝ SYSTÉM - JADRO, VODÍK, GRAVIMOBIL A VODA

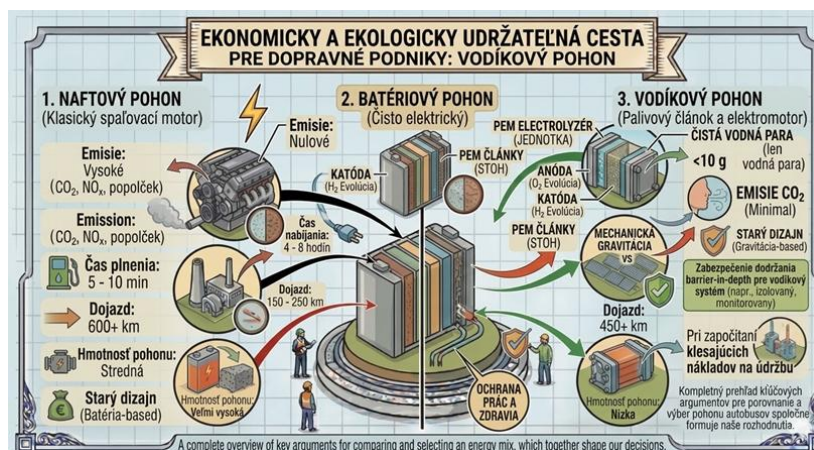
V súčasnej energetike čelíme zásadnej výzve: ako zosúladiť stabilnú výrobu z jadrových elektrární s premenlivou spotrebou spoločnosti a nestabilnou výrobou z obnoviteľných zdrojov. Jadrová elektráreň pracuje najefektívnejšie a najbezpečnejšie v režime konštantného výkonu, tzv. base load. Avšak v noci, keď priemysel spí, vzniká v sieti prebytok energie, zatiaľ čo počas dňa nastávajú kritické špičky. Riešením nie je regulácia reaktora, ale vytvorenie inteligentného hybridného uzla, ktorý prebytočnú energiu uloží a v správnom čase vráti späť.

5.1 JADROVÁ ELEKTRÁREŇ AKO STABILNÉ SRDCE SYSTÉMU

Jadrový blok je v tomto systéme generátorom stability. Na rozdiel od plynových elektrární, ktoré sú drahé na prevádzku, jadro dodáva energiu lacno a neustále. Naším cieľom je, aby elektráreň bežala na 100 % výkonu 24 hodín denne. Prebytok energie, ktorý v noci sieť nepotrebuje, presmerujeme do troch smerov: do vody, do gravitácie a do vodíka.

5.2 VÝROBA RUŽOVÉHO VODÍKA, ROVNAKO ČISTÉHO AKO ZELENÝ, AKO PALIVO PRE ČISTÚ BUDÚCNOSŤ

Využitie jadrovej energie na výrobu vodíka sa nazýva ružový vodík, no z hľadiska emisií je rovnako čistý ako ten zelený z vetra. Využitie jadra má oproti obrovskú výhodu. Reaktor okrem elektriny produkuje aj teplo. Pri vysokoteplotnej elektrolyze pri 700-800°C potrebujeme na rozklad molekuly vody menej elektrickej energie, pretože časť práce vykoná teplo z elektrárne. Tým zvyšujeme účinnosť výroby vodíka o viac ako 20 %. Vodík vyrobený v noci sa uskladní v tlakových nádobách a počas dňa slúži ako palivo pre vodíkové autobusy v regióne alebo pre priemysel. Tým jadrová elektráreň nepriamo čistí aj výfukové plyny v našich mestách.



Obr. 7: Vodíková technológia ponúka prevádzkovú flexibilitu porovnateľnú s naftou, ale s nulovými lokálnymi emisiami

Zatiaľ čo osobné automobily smerujú k batériovému pohonu, pre mestskú hromadnú dopravu a nákladnú prepravu predstavuje vodík najefektívnejšiu cestu k nulovým emisiám. V rámci nášho hybridného systému vodík nie je len vedľajším produktom, ale kľúčovým palivom, ktoré prenáša čistú energiu z jadra priamo do ulíc.

5.3 GRAVIMOBIL - GRAVITAČNÁ BATÉRIA V SLUŽBÁCH SIETE A PVE

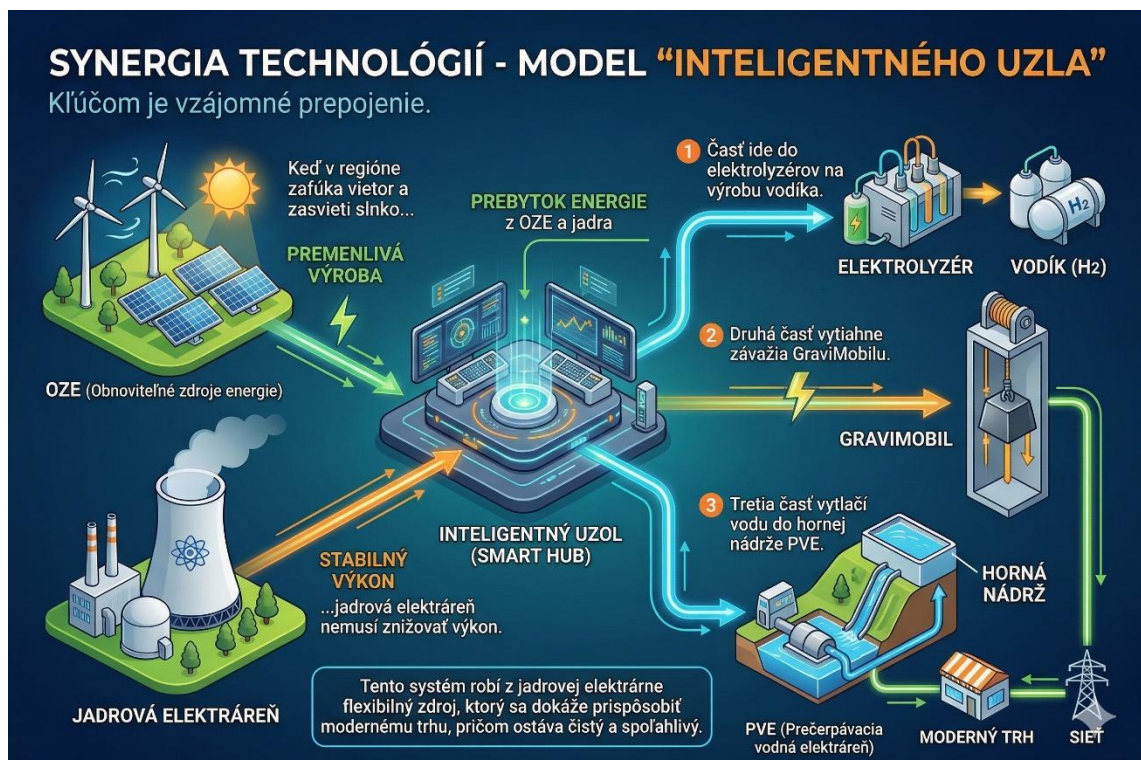
GraviMobil predstavuje inovatívny spôsob mechanickej akumulácie energie, ktorý nevyžaduje žiadne vzácne kovy (lítium, kobalt) a má takmer neobmedzenú životnosť. Systém pracuje s jednoduchým zákonom potenciálnej energie. V čase nadbytku energie z jadra elektrický motor vyťahuje masívne závažie (betónové alebo kovové bloky) do výšky. V čase špičky sa závažie uvoľní, gravitácia ho ťahá nadol a motor sa prepne do režimu generátora, ktorý vyrába elektrinu.

Prečerpávacía vodná elektráreň funguje v dokonalej symbióze s jadrom a GraviMobilom. V nočnom režime jadrová energia poháňa čerpadlá, ktoré vytlačia vodu z dolnej nádrže do hornej. V dennom režime voda tečie nadol cez turbíny a v priebehu niekoľkých sekúnd dokáže vykryť náhly nárast spotreby v sieti.

PVE rieši veľké objemy energie, dlhodobá stabilita, zatiaľ čo GraviMobil rieši rýchle výkyvy v sieti, frekvenčná stabilita. Spolu tvoria nepriestrelnú obranu proti blackoutu.

5.4 SYNERGIA TECHNOLOGIÍ - MODEL „INTELIGENTNÉHO UZLA“

Kľúčom je vzájomné prepojenie. Keď v regióne zaľúka vietor a zasvieti slnko, jadrová elektrárň nemusí znižovať výkon. Prebytok energie z OZE a jadra sa okamžite upraví. Časť ide do elektrolyzéroov na výrobu vodíka. Druhá časť vytiahne závažia GraviMobilu. Tretia časť vytlačí vodu do hornej nádrže PVE. Tento systém robí z jadrovej elektrárne flexibilný zdroj, ktorý sa dokáže prispôbiť modernému trhu, pričom ostáva čistý a spoľahlivý.



Obr. 8: "Inteligentný uzol" ako prepojenie histórie s hi-tech budúcnosťou

6 EKONOMICKÁ ANALÝZA SYSTÉMOV AKUMULÁCIE - POROVNANIE LCOS

Ekonomická efektívnosť jadrového hybridného uzla je priamo závislá od schopnosti nízkonákladovo uskladňovať prebytky energie vyrobenej v čase nízkeho dopytu. LCOS - jednotkové náklady na uskladnenie energie.

Lítiové batériové systémy Li-ion dominujú súčasnému trhu vďaka svojej vysokej modularite a vynikajúcej dynamike odozvy, avšak z dlhodobého ekonomického hľadiska čelia zásadným bariéram. Ich hlavným deficitom je elektrochemická degradácia, ktorá limituje životnosť systému na približne desať až dvanásť rokov pri štandardnom cyklovaní. Z ekonomického pohľadu to znamená, že pre horizont päťdesiatich rokov, čo je bežná doba prevádzky jadrového bloku, musí investor kalkulovať s minimálne štvornásobnou kompletnou obmenou batériových polí. Náklady na uskladnenie 1 MWh v lítiových batériách sa dnes pohybujú v rozmedzí od 150 do 250 eur, pričom do tejto sumy musia byť započítané aj rastúce náklady na recykláciu a environmentálnu záťaž spojenú s ťažbou vzácnych kovov.

V priamom kontraste k batériám stojí systém GraviMobil, ktorý využíva princíp potenciálnej energie závaží. GraviMobil neobsahuje žiadne chemické komponenty podliehajúce degradácii. LCOS pre gravitačné systémy sa odhaduje na úrovni 60 až 100 eur za MWh. Zásadným ekonomickým argumentom je takmer nulová strata kapacity v čase, keď závažie s hmotnosťou 500 ton uloží rovnaké množstvo energie v prvý deň prevádzky ako po polstoročí fungovania.

Prečerpávacie vodné elektrárne zostávajú z hľadiska nákladov na 1 MWh globálnym lídrom s hodnotami pod 50 eur. Ich ekonomická sila pramení z obrovského rozsahu a schopnosti akumulovať energiu na desať a viac hodín. Nevýhodou sú však extrémne vysoké vstupné náklady na výstavbu horných a dolných nádrží a geografická obmedzenosť. GraviMobil v tomto zmysle vyplní ekonomickú medzeru medzi drahými krátkodobými batériami a lacnými, ale nepružnými vodnými dielami.

Syntetický pohľad na ekonomiku hybridného uzla ukazuje, že kým lítiové batérie trpia vysokými nákladmi na amortizáciu, GraviMobil a PVE ťažia z mechanickej odolnosti.

7 PRAKTICKÁ REALIZÁCIA - EDUKAČNÝ MODEL A DEMONŠTRÁCIA SYNERGIE TECHNOLOGIÍ

Teoretická analýza bezpečnosti a čistoty jadrovej energie v predchádzajúcich kapitolách poskytla vedecký základ pre pochopenie problematiky. Aby sme však overili aplikovateľnosť týchto poznatkov v praxi a prispeli k odbúraní spoločenských mýtov, vytvorili sme názorný model hybridného energetického systému a realizovali edukačnú aktivitu pre žiakov prvého ročníka našej školy.

7.1 FILOZOFIA MODELU - OD „HROZBY“ K POCHOPENIU

Hlavným cieľom modelu bolo vizuálne demonštrovať, že jadrová elektrárň nepredstavuje statické nebezpečenstvo, ale dynamické a bezpečné centrum modernej energetiky. Model bol navrhnutý tak, aby žiakom ukázal stabilnú výrobu z jadra, bez emisií CO₂, využitie nočných prebytkov cez GraviMobil a výrobu vodíka, čistú dopravu a stabilnú sieť počas dňa.

7.2 TECHNICKÝ POPIS VYTVORENÉHO MODELU

Pre potreby prezentácie sme zostavili interaktívny model. Proces realizácie modelu sa začal výrobou kľúčových komponentov technológie PLA na 3D tlačiarňi. Medzi vytlačené segmenty patrili model reaktora, parogenerátora, turbíny, chladiacich veží, prečerpávacej stanice, referenčnej vodíkovej nádrže a príslušných potrubných rozvodov. Digitálne podklady vo formáte STL boli čerpané z dostupných odborných zdrojov. Po vyhotovení komponentov bol na základovej doske vytýčený pôdorys elektrárne, pričom plochy určené pre statickú vegetáciu boli farebne upravené a následne osadené statickým trávnikom pomocou aplikátora s využitím elektrostatického náboja.

Všetky vytlačené komponenty prešli mechanickým brúsením pre dosiahnutie hladkého povrchu. Povrchová úprava reaktora a parogenerátora bola realizovaná farebnou gradáciou, ktorá vizuálne interpretuje tepelné namáhanie materiálu a v prípade reaktora simuluje aj jav Čerenkovovho žiarenia. Sekundárny okruh a turbína boli farebne odlišené tak, aby jasne demonštrovali funkčné rozdelenie systému. Farebná schéma potrubných rozvodov striktné odlišuje primárny, rádioaktívny okruh od sekundárneho, nerádioaktívneho.

V rámci primárneho okruhu je ďalej vizualizovaný smer prúdenia chladiva: červená farba indikuje horúcu vodu odvádzanú z aktívnej zóny reaktora, zatiaľ čo fialová farba reprezentuje ochladené chladivo vracajúce sa späť. Týmto znázornením je zdôraznená hermetická oddelenosť oboch okruhov, čo garantuje neprítomnosť rádioaktivity v sekundárnej časti.

Z turbíny smerujú potrubia do chladiacich veží, ktoré v modeli demonštrujú proces odvodu zvyškového tepla zo sekundárneho okruhu do atmosféry vo forme čistej vodnej pary. Pri konštrukcii potrubí k chladiacim vežiam, ktoré neboli súčasťou pôvodných tlačových podkladov, bol aplikovaný vlastný inžiniersky návrh s využitím trasovania pomocou nite a fixácie špendlíkmi pre presné určenie dĺžky a zakrivenia segmentov.

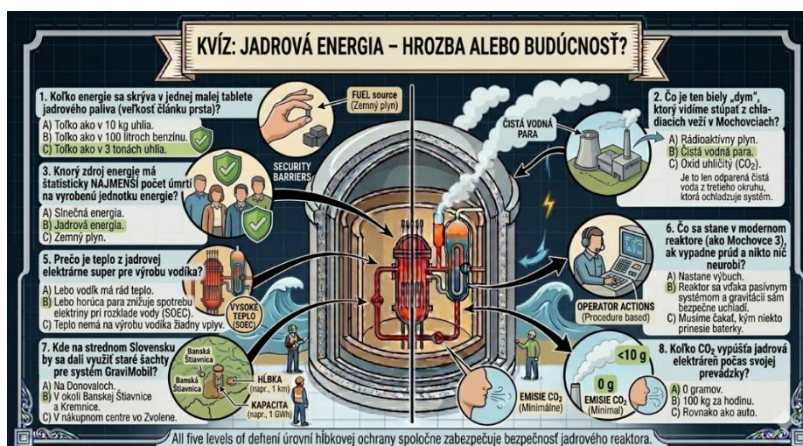
Informačnú hodnotu modelu zvyšuje integrácia displejov na vizualizáciu dát o jednotlivých častiach elektrárne. Pre tieto zobrazovacie jednotky boli vyvinuté a vytlačené špeciálne rámy a podstavce s dutinami pre skrytú kabeláž vedenú pod polystyrénovou základňou. Súčasťou infraštruktúry modelu je aj prístupová komunikácia s parkoviskom a nabíjacou stanicou pre nákladnú dopravu, ktorá je osadená funkčnou LED indikáciou. Dekoračné osvetlenie modelu je realizované sústavou nízkovýkonných LED diód s predradenými rezistormi a izoláciou z teplom zmršťiteľných bužírok. Referenčné vodíkové nádrže boli vyhotovené z transparentného materiálu s vnútornou dutinou pre podsvietenie, čím sa dosiahol efekt vizualizácie obsahu.

Konštrukčný základ modelu tvorí hliníkový profil s PVC stenami, ktorých zvýšená stavba umožňuje bezpečné uloženie riadiacej elektroniky a kabeláže v medzipriestore. Súčasťou je integrovaný reproduktor s 3D tlačeným krytom a PLA deliče, ktoré zabezpečujú štrukturálnu integritu polystyrénových dosiek a organizáciu vodičov. Estetické a technické detaily dopĺňajú modely stromov, krovín a elektroenergetických stožiarov s medeným vinutím simulujúcim vedenie vysokého napätia. Celý systém je riadený interaktívnym rozhraním na báze mikrokontroléra Arduino. Súčasťou modelu je logo GraviMobil, ktoré symbolizuje zariadenie, ktoré vyrovnáva výkyvy energie v spotrebiteľskej sieti. Tento komplexný vzdelávací model slúži ako nástroj na vyvrátenie mýtov o jadrovej energii a prezentuje ju ako bezpečný, čistý a udržateľný zdroj pre modernú spoločnosť.

7.3 PRIEBEH PREZENTÁCIE A METODIKA VÝKLADU

Prezentácia pre žiakov prvého ročníka bola koncipovaná ako interaktívny workshop. Väčšina žiakov na začiatku spájala jadro s pojмами ako „odpad“ alebo „výbuch“. Prváci, ktorí sú v procese formovania svojich postojov k ekológii a technológiám, predstavovali ideálnu cieľovú skupinu pre testovanie zrozumiteľnosti nášho konceptu. Pomocou modelu sme ukázali, že ich postoje o jadrovej elektrárni neboli vždy správne.

Po skončení prezentácie sme so žiakmi viedli riadenú diskusiu. Pre overenie spätnej väzby a fixáciu vedomostí bol žiakom predložený didaktický kvíz, ktorý hrovou formou testoval ich schopnosť rozlíšiť medzi mýtmi a vedeckými faktami. Najviac žiakov urobilo chybu v otázke č. 5 o termodynamike výroby vodíka, čo potvrdilo potrebu hlbšieho vysvetlenia synergie tepla a elektrolyzy v práci. Výsledky tejto praktickej skúsenosti potvrdili našu hypotézu. Strach z jadra je priamo úmerný nedostatku informácií o jeho fungovaní. Po demonštrácii modelu a vysvetlení synergie s vodíkom a gravitáciou žiaci ocenili stabilitu zdroja. Najpozitívnejšie bol vnímaný fakt, že jadro dokáže „upratať“ emisie z dopravy vďaka výrobe vodíka. Táto praktická časť dokázala, že jadrová energia v spojení s modernými technológiami ako GraviMobil, PVE a vodík je pre mladú generáciu nielen akceptovateľná, ale vnímaná ako technologicky fascinujúca. Model slúžil ako dôkaz, že ak vyriešime otázku pružnosti siete, jadro sa stáva nespochybniteľným pilierom bezpečnej a čistej budúcnosti.



Obr. 9: Didaktický kvíz, ktorý hrovou formou testoval vedomosti žiakov



Obr. 10: Vyhodnotenie kvízu po prezentácií

Prezentácia zanechala publiku skvelý dojem a jasne dokázala pokrok, ktorý účastníci vďaka našim informáciám urobili.

Pre disemináciu našich výsledkov sme zakúpili doménu a hosting a vytvorili internetovú stránku www.nuclearenergy.sk Tento zdroj bude slúžiť na to, aby oboznámil širokú verejnosť, že jadrová energia je čistá, spoľahlivá a ekologicky udržateľná.



Obr. 11: QR kód internetovej stránky

8 FINANČNÉ ZHODNOTENIE

Predstavujeme rozpočet projektu. Zdroje financovania – Rada rodičov pri Strednej priemyselnej škole dopravnej vo Zvolene, firma Newcom 1, Stráž 223, Zvolen.

- hliníkový profil, penový polystyrén, PVC doska, preglejka, lepidlo, podklad na tvorbu umelého trávnik, akrylové farby, modely stromu, pracovníkov, kvetov, kríkov – **49,35€**
 - multiplexer CJMCU-9548, TCA9548A - 8 kanálov RP, klon Arduino UNO R4 Minima s procesorom RA4M1, senzorový shield pre Arduino UNO, MEGA duemilanove, XT60 2 piny samec + samica, batériový konektor RP, plochý viacžilový kábel VFL, LED diódy – **44,34€**
 - vývojová doska ESP32-P4-WIFI6 s 7-palcovým 5-bodovým dotykovým displejom s kamerou - **67,65€**
 - filament PLA do 3D tlačiarne – **49,98€**
 - doména a hosting pre internetovú stránku <http://www.nuclearenergy.sk/> - **71,07€**
- Spolu náklady na projekt - 282.39€**

9 ZÁVER

Predložená odborná práca s názvom „Jadrová elektrárň – hrozba pre moju budúcnosť alebo čistý a spoľahlivý zdroj energie“ mala za cieľ podrobiť kritickej analýze jeden z najdiskutovanejších energetických zdrojov súčasnosti. V čase, keď globálna komunita čelí bezprecedentným výzvam spojeným s klimatickou zmenou, energetickou krízou a rastúcimi nárokmi na stabilitu siete kvôli rozvoju umelej inteligencie, sa otázka bezpečnej energie stáva otázkou prežitia našej priemyselnej civilizácie.

Rozbor historického kontextu a rizík v druhej kapitole ukázal, že vnímanie jadra ako „hrozby“ je do veľkej miery výsledkom informačnej asymetrie a traumy z minulých havárií, ktoré sa však udiali na technologicky odlišných systémoch. Štatistická realita bezpečnosti, vyjadrená počtom úmrtí na vyrobenú terawatthodinu, potvrdila, že jadrová energia je jedným z najbezpečnejších a najčistejších zdrojov. Prínos v podobe záchrany ľudských životov pred splodinami z fosílnych palív je vedecky nevyvrátiteľný.

Analýza elektrárne „zvnútra“ v tretej kapitole potvrdila, že moderné bloky generácie III+ (ako sú slovenské Mochovce 3) predstavujú technologický vrchol v oblasti pasívnej bezpečnosti.

Kapitola o materiálovej šetrnosti vyvrátila mýtus o nadmernej záťaži prírodných zdrojov. Jadro vyžaduje na jednotku vyrobenej energie rádovo menej betónu, ocele a kritických surovín, než väčšina obnoviteľných zdrojov, čím šetrí krajinu.

Najväčším prínosom tejto práce je však návrh hybridného energetického uzla, ktorý spája jadro s výrobou zeleného vodíka a mechanickou akumuláciou v systéme GraviMobil. Rieši jedinú relevantnú kritiku jadra – jeho nízku pružnosť. Uzol nielenže stabilizuje sieť, ale priamo dekarbonizuje dopravu a priemysel, čím robí z jadra skutočne čistý zdroj v celom hospodárskom cykle.

Praktickým a najviditeľnejším vyústením navrhovaného hybridného systému je dekarbonizácia regionálnej dopravy prostredníctvom vodíka. Analýza ukázala, že využitie prebytočného tepla a elektriny z jadrového zdroja na vysokoteplotnú elektrolýzu (SOEC) zvyšuje efektivitu výroby takzvaného „ružového“ vodíka, ktorý je analógom „zeleného“. Tento bezemisný nosič energie následne transformuje mobilitu v regióne stredného Slovenska.

„Vodíkové údolie“ napojené na stabilný jadrový uzol prináša riešenie pre ťažkú nákladnú a mestskú hromadnú dopravu, kde batériové riešenia narážajú na limity dojazdu, hmotnosti a času nabíjania. Prepojenie „čistého atómu“ s vodíkovými palivovými článkami vo vozidlách znamená, že z výfukov autobusov a nákladných áut bude unikať len čistá vodná para. To povedie k okamžitému zlepšeniu kvality ovzdušia a k zníženiu hlučnosti. Vodíková mobilita v našom projekte prestáva byť len teoretickým konceptom a stáva sa reálnym nástrojom na dosiahnutie uhlíkovej neutrality regiónu. Jadrová elektrárňa garantuje stabilitu a ekonomickú udržateľnosť celého tohto ekosystému.

Praktická časť práce, v rámci ktorej sme vytvorili interaktívny model a prezentovali ho žiakom prvého ročníka, priniesla dôležité spoločenské zistenie. Ukázalo sa, že ak je téma podaná zrozumiteľne, s využitím moderných technologických vízií, mladá generácia prestáva vnímať jadro ako hrozbu a začína ho vnímať ako fascinujúci nástroj pre čistú budúcnosť. Zmena postojov žiakov po prezentácii je najlepším dôkazom toho, že vzdelávanie a technická osveta sú cestou k pochopeniu jadrovej energetiky.

Na základe všetkých zozbieraných faktov a vykonaných analýz môžeme jednoznačne potvrdiť hypotézu práce:

- Jadrová elektrárňa nie je hrozbou pre moju budúcnosť. Práve naopak, je jej nevyhnutnou podmienkou.
- Hybridný systém predstavuje cestu k energetickej suverenite Slovenska a naplneniu klimatických cieľov bez nutnosti znižovania životného štandardu, v ktorom je energia dostupná, bezpečná a šetrná k planéte.
- Jadro je kotvou našej stability a motorom našej ekologickej renesancie.

Tento projekt nie je len teoretickou štúdiou, ale logickou výzvou na akciu, aby sme prestali vnímať jadro cez optiku strachu a začali ho vnímať ako kľúč k bezpečnej a prosperujúcej Európe. Energia je základom slobody. Ak chceme byť slobodní v čistom svete, musíme sa spoľahnúť na stabilitu atómu a silu gravitácie. Budúcnosť našej krajiny neleží v strachu z neznámyho, ale v odvahe spojiť silu atómu s čistou energiou gravitácie a vodíka. Premeňme naše dedičstvo na motor novej éry a vybudujme svet, v ktorom jediným odpadom v našich uliciach bude čistá vodná para a v našich domovoch pocit bezpečia založený na vedeckých faktoch, nie na mýtoch.

10 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

Internetové stránky:

<https://store.arduino.cc/en-sk/products/arduino-nano>

<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage>

<https://ourworldindata.org/safest-sources-of-energy>

<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>

<https://www.gravitricity.com/technology/>

<https://www.gravimobil.sk/>

<https://www.javys.sk/sk/informacny-servis/energeticky-slovník/J/jadrova-elektraren>

[The Role of Nuclear Power in the Hydrogen Economy](#)

[Nuclear Energy and Sustainable Development - World Nuclear Association](#)

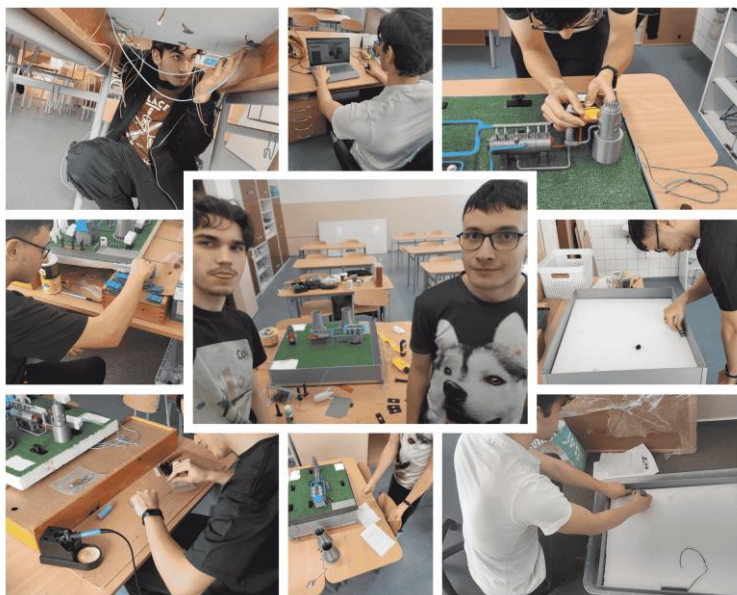
<https://www.svetenergie.cz/>

Iné zdroje informácií :

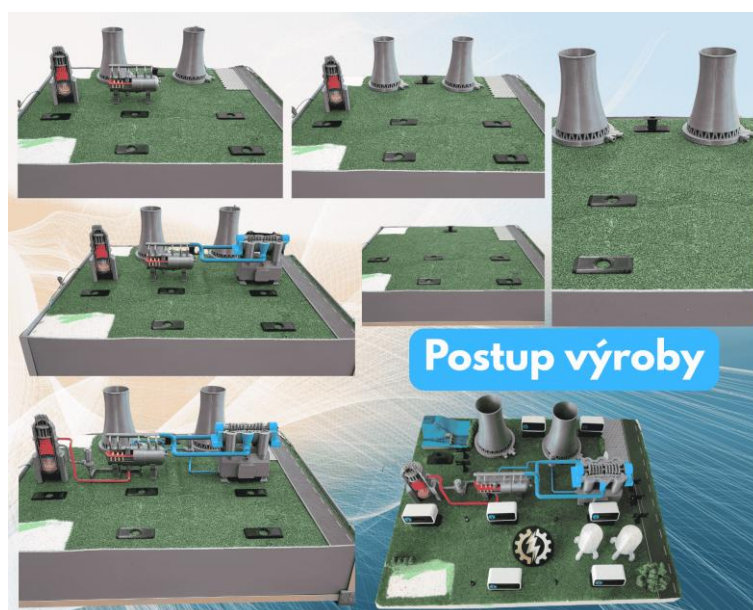
Konzultovanie s Mgr. Oleksandrom Kaljužnym, odborníkom na jadrovú energetiku

Autor obrázkov: Mgr. Valentína Kaljužna, Andrej Sámeľ, Sebastian Mlynarčík

11 FOTOGALÉRIA



Obr.12: Práca na tvorbe interaktívneho modelu



Obr.13: Postup výroby interaktívneho modelu jadrovej elektrárne



Obr. 14: Výsledný produkt