

VYSOKÁ ŠKOLA POLYTECHNICKÁ JIHLAVA

Aplikovaná technologie pro průmyslovou praxi

VYUŽITÍ VIRTUÁLNÍCH BRÝLÍ V JADERNÉ ENERGETICE

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Tomáš Kaláb

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Kňava

Jihlava 2025

Vysoká škola polytechnická Jihlava

Tolstého 16, 586 01 Jihlava

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce:	Bc. Tomáš Kaláb
Studijní program:	Aplikovaná technika pro průmyslovou praxi
Obor:	Aplikovaná technika pro průmyslovou praxi
Garant studijního programu:	doc. Ing. Radek Kolman, Ph.D.
Název práce:	Využití virtuálních brýlí v jaderné energetice
Vedoucí práce:	Ing. Miroslav Kňava
Cíl práce:	Cílem práce je analyzovat a vyhodnotit možnosti využití virtuálních brýlí v jaderné energetice. Práce se bude zaměřovat na několik klíčových oblastí jako školení a vzdělání personálu, využití v ostrém provozu JE. V teoretické práci bude popsána technologie virtuální reality a její vývoj včetně přehledu aktuálně dostupných VR zařízení. V praktické části bude představen popis modelu virtuálních brýlí a virtuální reality pro použití v jaderné energetice. Budou navrženy konkrétní příklady, které mohou přispět k efektivnějšímu vzdělávání personálu, provozu a řešení krizových situací a zlepšení bezpečnosti na jaderné elektrárně.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá analýzou a vyhodnocení možností využití virtuálních brýlí v jaderné energetice. Práce se bude zaměřovat na několik klíčových oblastí jako školení a vzdělávání personálu, využití v ostrém provozu JE. V teoretické části práce bude popsána technologie virtuální realit a její vývoj včetně přehledu aktuálně dostupných VR zařízení. V praktické části bude představen popis modelu virtuálních brýlí a virtuální reality pro použití v jaderné energetice. Budou navrženy konkrétní případy, které mohou přispět k efektivnějšímu vzdělávání personálu, provozu a řešení krizových situací a zlepšení bezpečnosti na jaderné elektrárně.

Klíčová slova

Virtuální realita; rozšířená realita; chytré brýle; digitalizace; jaderná energetika; RealWear Navigator™ 500

Abstract

The diploma thesis deals with the analysis and evaluation of the possibilities of using virtual glasses in nuclear energy. The work will focus on several key areas such as training and education of personnel, use in the live operation of NPPs. The theoretical part of the thesis will describe virtual reality technology and its development, including an overview of currently available VR devices. In the practical part, the description of the model of virtual glasses and virtual reality for use in nuclear power engineering will be introduced. Specific cases will be proposed that can contribute to more effective training of personnel, operation and resolution of crisis situations and improvement of safety at the nuclear power plant.

Keywords

Virtual reality; augmented reality; smart glasses; digitalization; nuclear energy; RealWear Navigator™ 500

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, v platném znění, dále též „AZ“).

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje **AZ**, zejména § 60 (školní dílo).

Podle § 47b zákona o vysokých školách souhlasím se zveřejněním své práce podle Směrnice pro vedení, vypracování a zveřejňování závěrečných prací na VŠPJ, a to bez ohledu na výsledek obhajoby.

Beru na vědomí, že VŠPJ má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom/a toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠPJ, která má právo ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených vysokou školou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše), z výdělku dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence.

V Jihlavě dne 14. dubna 2025

.....

Podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Miroslavu Křavovi za odborné vedení diplomové práce a trpělivost při jejím psaní, za rady a doporučení.

Dále bych rád poděkoval rodině a blízkým za podporu po dobu mého studia.

Obsah

Seznam obrázků	8
Seznam tabulek	9
Seznam zkratk	10
Úvod.....	12
1 Teoretická část.....	15
1.1 Historie jaderné energetiky	15
1.2 Význam bezpečnosti a přesnosti při práci v jaderných zařízeních	17
1.3 Představení technologií (chytřé brýle, AR, VR)	19
2 Historie virtuálních brýlí a jejich vývoj	21
2.1 Počátky virtuální reality (19. století – 20. století)	21
2.2 První komerční pokusy (80. – 90. léta 20. století)	21
2.3 VR v 21. století	22
2.4 Moderní VR technologie a současný vývoj	22
2.5 Aktuálně dostupná VR zařízení a jejich popis	23
2.6 Software pro 3D brýle a virtuální realitu	26
2.7 Typy brýlí podle účelu	28
2.8 Typy brýlí podle typu reality	28
3 Možnost využití brýlí v jaderné energetice	30
3.1 Digitalizaci k zelené energii.....	30
3.2 Bezpečnost práce.....	30
3.3 Kontroly a monitorování.....	30
3.4 Školení a vzdělání pracovníků.....	31
3.5 Údržba a opravy zařízení	31
3.6 Bezpečnostní a krizové situace	32
4 Praktická část.....	33
4.1 RealWear Navigator™ 500	34
4.2 Digitální pracovní postupy	38
4.3 Vzdálená spolupráce.....	38
4.4 3D vizualizace dat v prostoru.....	39
4.5 Urychlení a zácvik nových zaměstnanců.....	39
4.6 Využití brýlí na školícím středisku JE.....	40
5 Využití v ostrém provozu.....	41
5.1 Provozní pochůzky a kontroly zařízení	41
5.2 Konkrétní příklady z praxe ostrého provozu.....	41
5.3 Vývoj nových technologií a testování prototypů.....	44
5.4 Údržba a technická podpora.....	44
5.5 Řešení krizových situací	45
5.6 Bezpečnost na jaderných elektrárnách	47
6 Školení a vzdělávání zaměstnanců.....	51
6.1 Virtuální realita a simulace školení.....	51
6.2 Praktické školení na konkrétních zařízeních.....	51
6.3 Sledování a hodnocení pokroku školených pracovníků.....	52

6.4	Využití brýlí RealWear Navigator™ 500 při vzdělávání zaměstnanců.....	52
6.5	Integrace do výuky technologií.....	52
6.6	Samostatné procvičování a testování.....	53
6.7	Přístup k digitalizované dokumentaci a výuce z různých míst.....	53
6.8	Využití ve vzdělávacích programech.....	53
7	Návrhy vylepšení brýlí RealWear Navigator™ 500.....	54
7.1	Pro použití v jaderné energetice.....	54
7.2	Pro zvýšení bezpečnosti v jaderné energetice.....	55
	Závěr	57
	Seznam použité literatury	61

Seznam obrázků

Obrázek 1 Meta Quest 3S	23
Obrázek 2 Apple Vision PRO	24
Obrázek 3 Playstation VR2	25
Obrázek 4 HTC Vive XR ELITE	25
Obrázek 5 RealWear Navigator™ 500	26
Obrázek 6 Popis brýlí RealWear Navigator™ 500	34
Obrázek 7 Rozložení kamery brýlí RealWear Navigator™ 500 na části	35
Obrázek 8 Displej brýlí s aplikacemi připojení	36
Obrázek 9 Komunikace mezi strojníkem a operátorem.....	42
Obrázek 10 Zakreslení návodu opravy	43
Obrázek 11 Oprava dle instukcí na obrázku 10.....	43

Seznam tabulek

Tabulka 1 Specifikace RealWear Navigator™ 500	36
---	----

Seznam zkratek

AOSP	Android Open Source Project (zdrojový kód pro Android)
AR	Rozšířená realita
ČEZ	Čistá energie zítřka
EIS	Podnikový informační systém
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
GDPR	Ochrana osobních údajů
GNSS	Globální družicový polohový systém
GOMS	Aplikace systému monitorování provozu
GPS	Globální polohový systém
GSM	Globální systém pro mobilní komunikaci
HDR	Vysoký dynamický rozsah
HON	Hlavní olejová nádrž
IAEA	Mezinárodní agentura pro atomovou energii
I.O	Primární okruh
II.O	Sekundární okruh
IPD	Interpupilární vzdálenost
JE	Jaderná elektrárna, jaderná energetika
LCD	Displej z tekutých krystalů
MR	smíšená realita
OLED	Organická elektroluminiscenční dioda
PU ₂₃₉	Plutonium
PTSD	Posttraumatické stresové poruchy
QR	Kód rychlé reakce
RAM	Paměť s náhodným přístupem
SAP	Systémová aplikace
SBAS	Rozšiřující systém pro GPS
U ₂₃₅	Uran
USB	Universální sériová sběrnice

VR	Virtuální realita
VRB	Vedoucí reaktorového bloku
VŠPJ	Vysoká škola polytechnická Jihlava
VT	Vysokotlaký
WIFI	Bezdrátová síť
WVGA	Označení rozlišení
3D	Trojrozměrný
2D	Dvojrzměrný
1TB	Terabyte

Úvod

Téma diplomové práce využití virtuálních brýlí v jaderné energetice jsem si vybral proto, že na jaderné elektrárně pracuji již více jak šest let. Domnívám se, že jsem za tuto dobu získal dostatek informací na toto téma a dále bych rád získával fakta a detailnější informace o tomto tématu k novým zkušenostem a další praxi.

Cílem této diplomové práce je analyzovat a vyhodnotit možnosti využití virtuálních brýlí v jaderné energetice. Práce se bude zaměřovat na několik klíčových oblastí jako školení a vzdělávání personálu, využití v ostrém provozu JE. V teoretické části práce bude popsána technologie virtuální reality a její vývoj včetně přehledu aktuálně dostupných VR zařízení. V praktické části bude přestaven popis modelu virtuálních brýlí a virtuální reality pro použití v jaderné energetice. Budou navrženy konkrétní případy, které mohou přispět k efektivnějšímu vzdělávání personálu, provozu a řešení krizových situací a zlepšení bezpečnosti na jaderné elektrárně.

V teoretické části se budu zabývat problematikou jaderné energetiky kdy pouze okrajově a bodově popíši nejen historii, ale také jak funguje jaderná elektrárna a jaké jsou nejdůležitější komponenty jaderné elektrárny. Zmíním také bezpečnost, nakládání s odpadem a výhody jaderné energetiky. Na toto právě naváží významem bezpečnosti a přesnosti při práci v jaderných zařízeních jako je samotná bezpečnost práce, efektivnost školení, údržba a diagnostika zařízení, ale také optimalizace procesů. Neméně důležitá je také ochrana zdraví pracovníků a veřejnosti, ale také životního prostředí, prevence jaderných havárií, technická přesnost v provozu a údržbě, zajištění důvěry veřejnosti. V rámci této kapitoly dále představím technologii chytrých brýlí pro virtuální a rozšířenou realitu, objasním rozdíl právě mezi těmito dvěma realitami a přiblížím příklady jejich využití včetně konkrétních aplikací a uvedu výhody každé z nich.

V další kapitole se budu již věnovat chytrým brýlím jako takovým. Představím historii virtuálních brýlí a jejich vývoj od počátku tedy 19. – 20. století, dále pak 21. století až po současné moderní technologie a také budoucnost VR brýlí kam by se ještě mohla posouvat. Následně si představíme aktuálně dostupná VR zařízení a jejich popis. Mezi takováto zařízení, o kterých budeme mluvit je Meta Quest 3S, Apple Vision PRO, Playstation VR2, HTC Vive XR Elite, RealWear navigator 500. Dále naváží seznámením se softweary pro 3D brýle a virtuální realitu s konkrétními příklady jako je Unreal Engine, Unity, Vuforia, Autodesk VRED a REVIT a CRY Engine.

V rámci této kapitoly také uvedu rozdělení brýlí jak podle účelu, kdy se dělí dále na digitální pracovní postupy, vzdálenou spolupráci, vision picking v logistice a 3D vizualizace dat v prostoru. Dále pak můžeme brýle rozdělovat podle typu reality na brýle pro virtuální realitu, pro rozšířenou realitu nebo pro smíšenou realitu a uvedu jejich možné využití a rozdíly mezi nimi.

Další kapitolou, kterou se budu v teoretické části ještě zabývat je možnost využití brýlí v jaderné energetice zejména pak jak digitalizace zapadá do zelené energie, jak se promítá do bezpečnosti práce, kontrol a monitorování, také školení a vzdělávání pracovníků, údržba a opravy zařízení ale i bezpečnostní a krizové situace.

V praktické části popíši důvody, proč se skupina ČEZ, a.s. rozhodla zahrnout virtuální realitu a chytré brýle do prostředí jaderných elektráren. Na jaderné elektrárně již proběhlo testování těchto brýlí a bylo úspěšné. Přiblížím tedy jaký to pro jadernou energetiku znamená posun v digitalizaci, zkrácení doby odstávek, které jsou finančně i provozně náročné, ale také přínos pro zaškolení a rychlejší aklimatizaci nových zaměstnanců. Ti za pomoci virtuální reality mohou být daleko dříve soběstačnější a jistější ve své práci. Je také prokázáno, že vlivem virtuální reality dochází k daleko menšímu počtu chyb a zvyšuje se bezpečnost.

V další části se budu věnovat přímo chytrým brýlím značky RealWear Navigator™ 500, které se testovali přímo na jaderné elektrárně Temelín. Pro účel svojí diplomové práce jsem si brýle v jaderné elektrárně Temelín zapůjčil a testoval různé situace přímo v praxi v jaderné elektrárně Dukovany. Popíši jednotlivé části brýlí vhodných pro průmyslovou výrobu. Následuje pak podrobná specifikace virtuálních brýlí od obecných parametrů, výdrž baterie, fotoaparát, kompatibilita, záruka, doplňky nebo cloudové služby.

Další kapitola se bude týkat digitálních pracovních postupů přesněji řečeno zefektivnění pracovních postupů a omezení tištěných materiálů, urychlení nástupu nových zaměstnanců a standardizace pracovních postupů. Na to naváže vzdálenou spolupráci, tedy poskytnutí vzdálené podpory odborným pracovníkům v reálném čase, spolupráce v reálném čase, sdílení souborů a nahrávání relací. Zmíním také 3D vizualizaci dat v prostoru tedy Práci s 3D modely v reálném prostředí a digitální návštěvu výroby a plánování rozvoje. V rámci podkapitoly bude popsáno urychlení a zácvik nových zaměstnanců nebo standardizace pracovních postupů. Navazovat bude vzdálená spolupráce za poskytnutí vzdálené podpory odbornými pracovníky v reálném čase, spolupráce v reálném čase, sdílení souborů a nahrávání relací. Zmíním se také o 3D vizualizaci dat v prostoru, a to jak práce s 3D modely v reálném prostředí, tak digitální návštěvu výroby a plánování rozvoje této technologie. Naváže podkapitolou urychlení zácviku nových zaměstnanců a dále využití brýlí na školícím středisku JE.

V páté kapitole se budu věnovat využití brýlí v ostrém provozu myšleno v provozních pochůzkách a kontrolách zařízení. V rámci této kapitoly uvedu konkrétní příklady z praxe v ostrém provozu ale také vývoj nových technologií a testování prototypů. V rámci ostrého provozu je také důležitá údržba a technická podpora, a to vzdálená podpora a komunikace s odbornými pracovníky a dodám vlastní poznatky z praxe. Naváže řešením krizových situací, kde je důležitá rychlá komunikace a vizuální přenos, krizové scénáře a digitální pokyny, zaznamenání průběhu krizové situace, snížení lidské chyby a virtuální brýle RealWear Navigator™ 500 a jeho integrace do systému krizového řízení. Dále pak je důležitá bezpečnost na jaderných elektrárnách minimalizace provozních chyb, podpora otevřené komunikace a sdílení informací, předávání zkušeností mezi generacemi, standardizace postupů a omezení improvizace také podpora bezpečnosti pracovníků a brýle RealWear Navigator™ 500 jako nástroj prevence lidské chyby.

V šesté kapitole se budu věnovat školení a vzdělávání zaměstnanců pomocí virtuální reality, popíši praktické školení na konkrétních zařízeních, sledování a hodnocení pokroku školených pracovníků. V podkapitole pak popíši využití brýlí při vzdělávání zaměstnanců, integrace do výuky technologií, samostatné testování a procvičování, ale také přístup k digitalizované dokumentaci a výuce z různých míst a v neposlední řadě využití ve vzdělávacích programech.

Poslední sedmá kapitola se bude zabývat návrhy vylepšení brýlí používaných v jaderné energetice tedy konkrétně brýle RealWear Navigator™ 500. Zejména pak vylepšení v oblasti odolnosti vůči radiaci, lepší integritě s provozní dokumentací, zlepšení audiosystému, přesnější lokalizace uživatele, přizpůsobení a nositelnost, vylepšení spolupráce na dálku a kybernetická bezpečnost. Druhou podkapitolou bude vylepšení brýlí pro zvýšení bezpečnosti v jaderné energetice, a to zejména zjištění a varování zaměstnance při vstupu do zakázaných či nebezpečných zón, monitoring pracovních podmínek, podpora rozhodování a prevence lidského selhání, okamžité přivolání pomoci, zlepšení komunikace v havarijním režimu, zvýšení osobní ochrany pracovníka a zákaz neoprávněného použití zařízení.

1 Teoretická část

Jaderná energetika patří mezi klíčové oblasti moderního průmyslu, která zajišťuje stabilní a ekologicky čistý zdroj energie. Jaderná energetika se používá k výrobě elektřiny prostřednictvím jaderného štěpení. Tento proces, při němž dochází k rozdělení těžkých atomových jader, uvolňuje obrovské množství energie ve formě tepla. Tento tepelný proces se následně využívá k výrobě páry, která pohání turbíny generující elektrickou energii. Jaderné elektrárny tak představují stabilní a výkonný způsob výroby energie, který je pro některé země nezbytný pro zajištění energetické bezpečnosti a snižování emisí skleníkových plynů. Složitost provozu jaderných zařízení a jejich klíčová role v energetické infrastruktuře vyžadují vysoké standardy bezpečnosti, preciznosti a efektivity. Tradiční metody kontroly a řízení procesů však čelí novým výzvám, jako je stále složitější technologie, rostoucí požadavky na vzdělání pracovníků a tlak na snižování nákladů při zachování maximální spolehlivosti.

Moderní vizuální technologie, jako jsou chytré brýle, rozšířená realita (AR) a virtuální realita (VR), nabízejí inovativní řešení pro řadu těchto výzev. Tyto technologie umožňují výrazně zlepšit bezpečnost práce, efektivitu školení i preciznost údržby a diagnostiky zařízení. Jejich implementace v oblasti jaderné energetiky se proto stává tématem rostoucího významu.

Jaderná energetika má také své specifické výzvy a kontroverze zejména v oblasti bezpečnosti, odpadového hospodářství a veřejné percepce. Jaderné elektrárny poskytují vysoký podíl energie s nízkými emisemi CO₂. Jsou ale výzvy spojené s radiací, údržbou zařízení a nakládáním s vyhořelým palivem vyžadují velmi přísné regulační rámce a technologická řešení.

1.1 Historie jaderné energetiky

Historie jaderné energetiky sahá do poloviny 20. století. První jaderné reaktory vznikly ve 40. letech během druhé světové války. Sloužily primárně k vojenským účelům. Až poté se začalo zkoumat využití v jaderné energetice pro výrobu elektřiny. V roce 1954 byla v Sovětském svazu uvedena do provozu první jaderná elektrárna, která vyráběla elektrickou energii již pro civilní použití. Následně došlo k rychlému rozvoji jaderných reaktorů, zejména pak v západních zemích jako je Francie, Spojené státy, Japonsko a některé země v Evropě. [1]

1.1.1 Jak funguje jaderná elektrárna

Jaderná elektrárna se skládá z několika klíčových komponentů jako je jaderný reaktor, turbíny, generátor, chladicí nebo bezpečnostní systémy. [2]

- **Jaderný reaktor** – jedná se o srdce elektrárny, kde dochází k jadernému štěpení. Palivem pro tento proces je většinou uran (U_{235}) nebo plutonium (Pu_{239}). Když se jádra těchto atomů rozdělí, uvolní se obrovské množství tepla, které se používá k výrobě páry.
- **Turbíny a generátor** – Pára z reaktoru pohání turbíny, které jsou mechanicky spojeny s generátorem. Turbína se otáčí, což vytváří elektrickou energii.
- **Chladicí systém** – Jaderné elektrárny využívají chladicí systémy (většinou vodní) k odvádění tepla, které vzniká při štěpení jader. Tento proces může být jedním z nejkompexnějších a nejvíce náročných na technologii a bezpečnost. [3]

- **Bezpečnostní systémy** – Jaderné reaktory mají řadu bezpečnostních systémů na ochranu proti možným haváriím. Patří sem reaktory typu kontejnery, reaktory s pasivními bezpečnostními systémy, a v případě velmi závažných havárií i jednotky pro ochranu proti úniku radiace.

Jaderná energetika, i přes svůj vysoký potenciál pro výrobu čisté energie, čelí několika zásadním výzvám jako je:

- **Bezpečnost** – Největší obavou zůstává bezpečnost jaderných elektráren, zejména v případě havárií jako byly Černobyl (1986) nebo Fukushima (2011). Tyto jaderné havárie ukázaly, jak katastrofální mohou být následky poruchy jaderného reaktoru. To vedlo k zavedení přísnějších regulačních opatření ale také investicím do nových bezpečnostních technologií.
- **Nakládání s odpady** – při jaderné energetice se generuje vysoce radioaktivní odpad, který musí být bezpečně uložen po tisíce let. Jedná se o náročný a drahý proces při správném nakládání s těmito odpady z vyhořelého paliva.
- **Náklady** – samotná nová výstavba jaderných elektráren je velmi nákladná a časově náročná. Také náklady na demontáž starých reaktorů nebo správa radioaktivního odpadu je vysoce nákladná.
- **Veřejná percepce** – Veřejnost nejen z blízkého okolí jaderných elektráren má obavy z jaderné energie, zejména v souvislosti s potenciálními nehodami ale také ekologickými dopady na životní prostředí z dlouhodobého hlediska. Tato obava ovlivňuje politická rozhodnutí a může bránit rozvoji jaderné energetiky v některých regionech.
- **Geopolitické faktory** – Jaderná energetika je také politicky citlivým tématem. Vývoj jaderných technologií a infrastruktury může být rovněž předmětem geopolitických sporů. Zejména pokud jde o rozšiřování jaderných schopností mezi zeměmi.

1.1.2 Výhody jaderné energetiky

Mezi výhody jaderné energetiky patří:

Nízké emise CO₂: JE patří mezi nízkouhlíkové zdroje energie, což je zásadní v kontextu boje proti klimatickým změnám.

Stabilní a spolehlivý zdroj energie: jaderné elektrárny mohou vyrábět energii 24 hodin denně, 7 dní v týdnu, nezávisle na počasí na rozdíl od některých například větrných či solárních elektráren, které jsou na počasí závislé.

Vysoká energetická hustota: protože má jaderné palivo mnohem vyšší energetickou hustotu než tradiční fosilní paliva, je pro výrobu stejného množství energie potřeba mnohem menší množství paliva.

1.2 Význam bezpečnosti a přesnosti při práci v jaderných zařízeních

Mezi klíčové faktory pro ochranu životního prostředí, lidského zdraví ale také předcházení nehod je právě důležitá přesnost a bezpečnosti při práci. Jaderná energetika a technologie, které s ní souvisejí, představují vysoké riziko, pokud nejsou řízeny správně. Právě proto je nezbytné zajistit nejen fyzickou bezpečnost pracovníků, ale i provozní bezpečnost a technologickou přesnost. Využití chytrých brýlí a virtuálních technologií zde může přispět k:

- **bezpečnosti práce** – v tomto případě mohou brýle zobrazovat bezpečnostní prvky, a to v reálném čase. Upozornit tak na potencionální rizika v provozu (např. upozornit na únik radiace, vysokou teplotu nebo přítomnost nebezpečných látek). Ze strany operátora pak může být minimalizováno riziko chyb a vznik nehod. Na brýlích je možné zobrazovat také aktuální pracovní postupy, nouzové protokoly či bezpečnostní pokyny. Jde tak minimalizovat riziko chyb. [4]
- **efektivní školení** – umožnění zaměstnanců natrénovat za pomoci virtuální simulace složitější postupy v bezpečném prostředí bez toho, aniž by bylo nutné přímo zasáhnout do provozu. Během výcviku mohou AR technologie zobrazovat interaktivní instrukce přímo na zařízení. Zvyšuje se tak efektivita školení a přispívá k lepšímu porozumění technologiím.
- **precizní údržba a diagnostika** – na chytrých brýlích je možné zobrazovat například technická schémata, hlášení o stavu zařízení přímo v zorném poli pracovníka nebo různé instrukce. Tímto se zvyšuje rychlost ale také přesnost oprav i diagnostiky problému.
- **optimalizace procesů** – myšleno propojení chytrých brýlí a dalších systému jako jsou IoT senzory, tj. získání dat v reálném čase a jejich efektivní analýza. Sdílení dat pak vede k lepší koordinaci pracovních týmů a je tak možné lépe reagovat na změny provozních podmínek a optimalizovat výkon zařízení.

1.2.1 Ochrana zdraví pracovníků a veřejnosti

Při práci s jaderným zařízením dochází k neustálému kontaktu s radioaktivními materiály, které mohou mít vážné následky pro lidské zdraví, pokud dojde k jejich úniku nebo nesprávnému zacházení. Mezi takováto hlavní rizika patří:

Ionizující záření: Pokud pracovníci nejsou chráněni vhodnými ochrannými pomůckami a pokud nejsou správně dodržovány bezpečnostní postupy, může to vést k radiaci, která způsobuje akutní i dlouhodobé zdravotní problémy (např. rakovinu).

Zabezpečení proti únikům: Jakýkoli únik radioaktivních materiálů může mít devastující dopad na zdraví lidí i zvířat, a také na životní prostředí. Bezpečnostní opatření, jako jsou pevné ochranné bariéry a monitorovací systémy, jsou nezbytné pro prevenci takových incidentů. [5]

1.2.2 Prevence jaderných havárií

Největšími hrozbami při práci v jaderných zařízeních jsou možné vzniky jaderných havárií, které mohou způsobit katastrofální následky. Příklady historických jaderných nehod, jako jsou Fukušima a Černobyl, které ukazují, jak závažné mohou být následky selhání jsem již uvedl výše. Pro zabránění takovým situacím je potřeba dodržení následujících bodů:

Přesnost při řízení procesů: všechna zařízení na JE včetně jaderných reaktorů musí být pečlivě řízena s vysokou přesností, aby se udržely stabilní podmínky pro výrobu energie a minimalizovalo se riziko havárií. Každá odchylka od stanovených parametrů (např. tlak, teplota, hladina záření) může vést k nevratným změnám v provozu zařízení.

Dvojitá kontrola a redundance: v oblasti jaderné energetiky jsou zavedeny systémy s vysokou úrovní redundance, to znamená, pokud existují záložní systémy a metody pro zajištění správného fungování i v případě, že by došlo k selhání primárních zařízení.

1.2.3 Technická přesnost v provozu a údržbě

Technická přesnost v provozu je důležitá vlastnost. Bez přesnosti totiž v operacích a údržbě může dojít k poškození zařízení, který vede nejen k riziku pro bezpečnost ale také ke vzniku finančních ztrát. Například:

Údržba a opravy: Každá i malá chyba při údržbě jaderného zařízení může vést k vážným problémům. Pracovníci musí dodržovat přísné standardy a používání správných nástrojů a metod při inspekci, opravách nebo výměně komponent.

Monitorování kritických parametrů: Během provozu zařízení musí být neustále monitorovány klíčové parametry, jako je teplota, tlak, složení paliva a úroveň záření. Jakákoliv odchylka může vést k destabilizaci reaktoru nebo jiných systémů, což zvyšuje riziko nehody.

1.2.4 Ochrana životního prostředí

Přesnost a bezpečnost jsou nezbytné nejen pro ochranu zdraví lidí, ale i pro minimalizaci ekologických škod. Při nesprávném řízení a neodstranění radioaktivních odpadů může dojít k dlouhodobému znečištění životního prostředí. Důležitými faktory jsou:

Likvidace jaderného odpadu: Skladování a likvidace vysoce radioaktivního odpadu musí být prováděno s maximální opatrností tak, aby se zabránilo jeho úniku do přírody.

Prevence kontaminace: Je nezbytné mít efektivní systémy na zadržení případných úniků radioaktivních materiálů a na čištění kontaminovaných oblastí. [6]

1.2.5 Zajištění důvěry veřejnosti

Jaderná energetika čelí neustálým obavám veřejnosti o bezpečnost. Transparentnost a přísné dodržování bezpečnostních předpisů zajišťují důvěru veřejnosti v technologii. Jakýkoli známý incident, i menší, může způsobit obrovské negativní reakce a ztrátu důvěry, což může mít dlouhodobé důsledky pro celý jaderný průmysl.

1.2.6 Legislativní a regulační rámec

Jaderné zařízení podléhá přísným normám a regulacím, které stanovují bezpečnostní požadavky. Tyto normy zahrnují:

IAEA a národní předpisy: Mezinárodní agentura pro atomovou energii (IAEA) i národní regulátory stanovují přísné standardy pro bezpečný provoz jaderných zařízení. Tyto regulace zahrnují vše od návrhu a výstavby zařízení až po jeho provoz a likvidaci.

Zajištění kvality: Pro zajištění bezpečnosti je důležité provádět pravidelné audity, inspekce a testování zařízení, aby byla potvrzena jejich shoda s bezpečnostními normami.

1.3 Představení technologií (chytřé brýle, AR, VR)

Moderní technologie, jako jsou **chytřé brýle**, **rozšířená realita (AR)** a **virtuální realita (VR)**, jsou důležité a revoluční kroky ve způsobu, jakým se propojujeme s digitálním světem a jak mohou ovlivnit různé oblasti zábavy, vzdělávání až po průmyslové aplikace. Každá z těchto technologií má své specifické vlastnosti a možnosti, díky kterým můžeme novým způsobem vnímat a propojovat se s prostředím, informacemi či přímo objekty.

Jaké jsou rozdíly mezi AR a VR:

AR (rozšířená realita): Umožňuje propojení s reálným světem, do kterého jsou přidávány virtuální objekty. Je to "doplňkový" zážitek, který zůstává propojený s fyzickým prostředím.

VR (virtuální realita): Vytváří zcela digitální prostředí, které uživatele zcela ponoří do virtuálního světa. Interakce je s tímto simulovaným prostředím, nikoliv s reálným světem.

1.3.1 Rozšířená realita (AR - Augmented Reality)

Rozšířená realita je technologie, jenž kombinuje digitální obsah jako jsou obrázky, zvuk, text s reálným světem. Díky AR může uživatel vidět virtuální objekty zapojené do skutečného prostředí prostřednictvím zařízení, jako jsou chytré telefony, tablety, nebo brýle.

Příklady a použití:

Pokémon Go: Aplikace, která popularizovala AR ve formě hry, kde hráči lovili virtuální Pokémony ve skutečném světě pomocí chytrého telefonu.

IKEA Place: Aplikace, která umožňuje uživatelům vizualizovat nábytek v jejich domácnostech pomocí AR technologie. Uživatelé mohou vidět, jak by vypadal vybraný kus nábytku ve skutečném prostoru před tím, než ho koupí.

Průmyslové aplikace: AR se používá k navádění pracovníků během oprav a údržby, kdy na obrazovce vidí pokyny, jak správně postupovat, nebo vidí informace o zařízeních v reálném čase.

Google Lens: Aplikace, která umožňuje rozpoznávání objektů a textu v reálném světě a poskytuje související informace.

Výhody:

Interaktivita: AR poskytuje interaktivní zážitky, kde se virtuální objekty chovají a reagují na reálný svět.

Praktické aplikace: AR je skvělý pro školení, zdravotní péči, opravy, design, vzdělávání a další oblasti, kde může poskytnout informace v reálném čase.

Vylepšení vnímání: Umožňuje lepší pochopení a vizualizaci komplexních informací tím, že je umístí do kontextu skutečného světa. [7]

1.3.2 Virtuální realita (VR - Virtual Reality)

Naproti tomu virtuální realita vytváří plně digitální prostředí, které může být pro uživatele zcela pohlcující. K tomu se obvykle používají speciální headsety jako je HTC Vive, Oculus, Rift a někdy i doplňkové zařízení, jako jsou rukavice nebo senzory pro pohyb, které umožňují plně interagovat s virtuálním světem.

Příklady a použití:

Hry: VR hry, jako je **Beat Saber** nebo **Half-Life: Alyx**, poskytují plně imerzivní zážitky, kde se uživatel stává součástí herního světa.

Simulace a školení: VR se používá v oblasti vojenského a leteckého výcviku, kde simulace reálných scénářů pomáhá s výcvikem bez rizika pro účastníky.

Zdravotnictví: VR se využívá pro rehabilitace, jako je například pomoc pacientům po mrtvici, kteří potřebují zlepšit pohybové schopnosti pomocí virtuálních simulací.

Vzdělávání a design: Vzdělávací aplikace a VR nástroje pro návrh pomáhají studentům a odborníkům lépe pochopit komplexní koncepty, jako je anatomie nebo inženýrské procesy.

Výhody:

Imerzivní zážitky: VR umožňuje uživatelům "uniknout" do úplně nového světa, což je ideální pro zábavu, ale i pro vzdělávání a simulace.

Bezpečné trénování: Díky VR mohou lidé trénovat v simulovaném prostředí bez rizika zranění, což je ideální například pro piloty, chirurgii nebo vojenský výcvik.

Psychologické výhody: VR se používá také pro terapii, například pro léčbu fobií, posttraumatických stresových poruch (PTSD) nebo pro zlepšení duševního zdraví. [8]

2 Historie virtuálních brýlí a jejich vývoj

Když zmíníme pojem chytré brýle, mluvíme o vysoce technologickém zařízení, které je kombinací tradičních brýlí s digitálními technologiemi a často obsahují integrované displeje, mikrofony, senzory a další komponenty pro propojení s okolním světem. Mohou sloužit jako prostředek pro zobrazení informací, interakci s aplikacemi nebo jako nositelné zařízení pro různé účely. Díky propojení s chytrým telefonem nebo jiným zařízením mohou chytré brýle zobrazovat notifikace, navigovat, přehrávat hudbu či video, online vyhledávat různé informace, snímat fotografie a videa, monitorovat zdraví a provádět mnoho dalších úkolů.

Chytré brýle mohou mít také vestavěné mikrofony a reproduktory pro hlasové ovládání a poslech. Mnoho společností vyvíjí vlastní verze chytrých brýlí, včetně společností jako je Google, Facebook, Microsoft a někteří výrobci lyžařského i sportovního vybavení.

Virtuální realita spočívá v technologii umožňující uživateli vstoupit do nasimulovaného prostředí a v něm pracovat. Tato technologie má počátky v 19. století, kdy byly poprvé vytvořeny stereoskopické obrazy. Opravdový vývoj VR brýlí, tak jak je známe začal ve 20. století a pokračuje dodnes neustálým zdokonalováním softwaru a hardwaru.

2.1 Počátky virtuální reality (19. století – 20. století)

Počátky virtuální reality začínají někdy v 19. století, kde se objevily první panoramatické obrazy a stereoskopické fotografie. V roce 1838 britský vědec Charles Wheatstone dokázal, že při kombinaci dvou méně odlišných obrázků lze vytvořit 3D efekt. Tento objev vedl k vývoji prvních stereoskopických prohlížečů. Tato technologie umožnila první iluzi hloubky a byly využívány například pro virtuální turistiku. [9]

V roce 1956 Morton Heilig představil první multisenzorické zařízení nazvané *sensorama*.

Toto zařízení umožnilo uživatelům zažít 3D video, stereozvuku a vibrace. *Sensorama* mělo sloužit jako interaktivní zážitek pro filmy, ovšem nikdy nemělo takový komerční úspěch.

První skutečný VR headset vytvořil v roce 1968 Ivan Sutherland a jeho student Bob Sproull neslo název *The Sword of Democles*. Tento headset umožňoval uživatelům vidět a integrovat s virtuálním světem přímo před očima. Systém byl však velmi těžký a musel být zavěšen ke stropu. *The Sword of Democles*, ale položil základ pro další vývoj VR zařízení.

2.2 První komerční pokusy (80. – 90. léta 20. století)

V 80. letech je VR technologie podporována výhradně armádou a leteckými společnostmi. Jednalo se například o projektu *super cockpit* Thomase Furnesse, který umožňoval pilotům zobrazovat 3D a dále ovládat letadlo hlasem či pohybem očí (zdroj o technice.cz – první kroky VR).

Další, kdo využíval VR technologie byla NASA, která je používala pro simulace a trénink astronautů.

Prvním, kdo používal termín virtuální realita byl v roce 1987 Jaron Lamer zakladatel společnosti VPL Reserch a v témže roce představil komerční VR headsety s pohybovými senzory

V 90. letech začínají první pokusy VR pro běžné spotřebitele. Například Sega VR (1993), určené pro konzoli Sega Genesis, nebo Nintendo Virtual Boy (1995), který měl nízkou kvalitu a špatnou ergonomii a na trhu se příliš neprosadil. Ve světě her se začalo experimentovat s VR systémy, ale technologie potřebná pro kvalitní užívání nebyla dostatečně vyspělá na rozšíření mezi běžné uživatele.

2.3 VR v 21. století

V roce 2012 nastává průlom VR technologií, kdy Palmer Luckey vyvinul Oculus Firt. Jednalo se o první moderní VR headset, který byl určený pro domácí uživatele. Oculus Rift měl velké rozlišení 1280 x 800 pixelů, rozděleny na dvě obrazovky 640 x 800 pixelů, jednu pro každé oko. Dále měl tento headset plynulé snímkování a byl relativně cenově dostupný od 7000 Kč až po 10 000 Kč. Oculus Rift dokázali vzbudit poměrně velký zájem a v roce 2014 kupuje tento projekt Facebook za 2 miliardy dolarů a touto dobou začíná éra VR technologií.

Další významné Headsety uvedené na trh v roce 2016 byly HTC Vive a Playstation VR, které byly určené pro herní průmysl a umožňovali přirozenější interakci s virtuálním prostředím. [10]

2.4 Moderní VR technologie a současný vývoj

VR headsety se v posledních letech vyvíjejí a směřují k většímu pohodlí pro uživatele. Například Oculus Quest (2019) byl první samostatný VR headset, který nepotřeboval být připojen k počítači a ani mít externí senzory, což mělo za následek snadnější používání VR technologie. Dalšími headsety jsou Valve Index nebo HP Reverd GZ umožňující lepší snímání pohybu rukou a kvalitnější rozlišení displejů VR technologie se v dnešní době více zaměřují na lepší rozlišení, pohodlnější nošení a na hmotnost [9]

Dnešní VR technologie se už nezaměřují výhradně na herní průmysl, ale začínají se více prosazovat například v medicíně (simulace operací, léčba nejrůznějších fóbií). Dle pak ve vzdělávání (historie, vědní obory) a v neposlední řadě průmyslu (trénink a vzdělávání zaměstnanců, virtuální prohlídky továren a podniků, modelování produktů ve virtuálním prostředí).

2.4.1 Budoucnost VR technologií

Budoucnost VR technologií je na dobré cestě a je očekáván její rozvoj v mnoha oblastech. Jedním z aspektů bude rozvoj přístupnosti mezi obyčejné uživatele, kdy se VR soupravy stanou cenově dostupnější, pohodlnější pro užívání. Další oblastí, kam VR technologie směřují je využití umělé inteligence. Ta zlepšuje interaktivitu a dodává větší realističnost ve VR prostředí. Budoucnost VR technologií je i ve zdravotnictví, kde se už začíná objevovat, ale lepší virtuální prostředí bude mít za následek kvalitnější přípravu například složitějších operací.

Následující oblast, na kterou se budoucnost VR zařízení zaměřuje je 5G a cloudové VR. Díky rychlému připojení pomocí 5G sítí umožní sdílení vysoce kvalitního VR obsahu bez potřeby místního hardwaru. Tato technologie otevře cestu k dostupnějšímu a přizpůsobivějšímu VR zážitku. [11]

Kombinací VR a rozšířené reality (AR) umožní vzájemné působení s digitálními objekty v reálném světě. Tato kombinace povede k širšímu využití VR technologií v každodenním životě (IT Doma o obecném vývoji VR)

Všechny tyto oblasti budoucnosti VR naznačují, že VR technologie se neomezí jen na herní průmysl, ale najde využití ve vzdělávání, průmyslu, práci a stane se běžnou součástí našeho každodenního života. (zdroj Robot Dreams o trendech ve VR, winseven.cz)

2.5 Aktuálně dostupná VR zařízení a jejich popis

Aktuálně se na trhu nachází spousta moderních VR headsetů. V této kapitole se zaměříme na 5 z nich. Budou porovnány jejich parametry a využití.

2.5.1 Meta Quest 3S

Prvním z řady porovnávaných VR headsetů je Meta Quest 3S. Je to samostatný headset, který má LED display a rozlišení 1832 x 1920 px na oko. Jeho cena se pohybuje od 15 000 Kč do 17 000 Kč. Výdrž baterie je 2,5 hodiny. Toto VR zařízení disponuje čipem Qualcomm Snapdragon XR2 Gen 2 a 8 GB RAM, což je aktuálně jeden z nejvýhodnějších čipů a díky tomu je výkon plynulý. Výhodou je široká škola her a aplikací, které jsou dostupné na Meta Store. Díky tomu je vhodný, jak pro začínající uživatele, tak pokročilé. Zařízení umožňuje barevný režim ve smíšené realitě a díky tomu je využitelný například v designu nebo vzdělání. Nevýhodou ve srovnání s modelem Quest 3S je zhoršené zorné pole a horší nastavení interpupilární vzdálenosti (IPD). [11]



Obrázek 1 Meta Quest 3S

Zdroj: Rmol, (2025)

2.5.2 Apple Vision PRO

Jedná se o prémiové zařízení od společnosti Apple. Oproti ostatním VR zařízením je napřed co se týče technologie. Display používá zařízení Mivo OLED s celkovým rozlišením 24 pxi, což má za následek velmi ostrý obraz. Apple Vision Pro jsou poháněné čipy Apple R2 a R1. Model dále nabízí až 1TB interního úložiště. Využití tohoto modelu je díky technologické vyspělosti převážně profesionální. Primární využití tohoto modelu je, tedy v oboru kreativního designu, pracovního prostředí medicíny. Hlavní výhodou tohoto modelu je sledování očí, to umožňuje uživateli ovládat APPLE Vision PRO bez ručního ovladače. Cena tohoto modelu je velmi vysoká pohybuje se okolo 150 000 Kč, záleží na velikosti úložiště. Nevýhodou je právě pořizovací cena a externí baterie, jejíž výdrž se pohybuje okolo dvou hodin. [13]



Obrázek 2 Apple Vision PRO

Zdroj: Smartmania (2005-2023)

2.5.3 Playstation VR2

Playstation VR2 je zařízení určené výhradně pro herní konzoli Playstation 5. Zařízení využívá OLED Display, jehož rozlišení je 2000 x 2040 pixelů na oko. Dále podporuje HDR, to má za následek plynulé a realistické zobrazení při hraní her.

VR2 využívá technologii sledování očí tzv. foveated rendering – selektivní vykreslování části obrazu, na kterou se uživatel dívá.

Díky této inovaci není tolik zatížen výpočetní výkon a zároveň dovolí vyšší grafickou kvalitu obrazu. Zařízení je tedy určeno pro herní uživatele, kteří si chtějí vychutnat co nejrealističtější herní zážitek. Nevýhodou je pouze drátové připojení s Playstation 5 a slabší nabídka VR videoher. Pro některé uživatele může být také nevýhoda objemnější herní ovladač. [14]



Obrázek 3 Playstation VR2

Zdroj: Playstation VR 2 (2025)

2.5.4 HTC Vive XR ELITE

HTC VIVE XR ELITE kombinuje VR a AR technologie, která má vysoké rozlišení displeje a výborné sledování pohybu. Díky tomu se řadí mezi špičková zařízení. Toto zařízení je ideálním nejen pro hraní her, ale zároveň pro profesionální použití za pomoci pokročilého pozorování rukou a očí rozšiřuje možnosti většího propojení s virtuálním prostředím. [15]



Obrázek 4 HTC Vive XR ELITE

Zdroj: Fzone (2025)

2.5.5 RealWear Navigator™ 500

Jsou brýle s rozšířenou realitou (AR), jejich hlavní využití se nachází v průmyslu. Jsou umístěny na ochranné přilbě a umožňují hand free ovládání pomocí hlasových příkazů. Zařízení je vybaveno HD kamerou s funkční stabilizace obrazu. Dále mikrofony, které tlumí okolní zvuky a displej s vysokým jasem. Tento display dokáže simulovat obraz, která je přibližně stejný jako 7palcový tablet. Konstrukce tohoto zařízení je velmi odolná, a proto nachází uplatnění hlavně v náročných podmínkách. RealWear Navigator™ 500 umožňuje vzdálenou spolupráci, sdílení digitálních pracovních postupů, díky rozšířené realitě a ovládání. Hands-free umožňují dokonalejší spolupráci mezi pracovníky a experty na dálku [15]



Obrázek 5 RealWear Navigator™ 500

Zdroj: Ayes (2025)

2.6 Software pro 3D brýle a virtuální realitu

Virtuální realita a rozšířená realita jsou stále častěji používány nejen v herním odvětví, ale i lékařství, průmyslovém designu a vzdělávání. Jedním ze základních prvků těchto technologií jsou software, které dovolují vývoj, vizualizaci a propojení s virtuálním prostředím. Hlavní softwarové platformy jsou Unreal Engine, Unity a Vuforia a nástroje od společnosti Autodesk.

2.6.1 Unreal Engine

Je jedním z nejvyspělejších herních enginů a rozsáhle se používá pro vývoj aplikací ve virtuální realitě. Poskytuje fotorealistickou grafiku, podporu pro fyzikální simulace a proces, při němž ze zadaných dat vzniká cílová obraz v reálném čase. Tento engin nachází uplatnění nejen u herních vývojářů, ale také u architektů nebo v automobilovém průmyslu, zdravotnických simulacích. Unreal Engine 5 přináší novinky jako je technologie Nanite nebo Lumen. Tyto funkce umožňují vytvářet nesmírně detailní a realistické prostředí bez toho, aniž by byla použita složitá

optimalizace. Unreal Engine je také používán ve filmovém prostředí, kde nachází uplatnění při tvorbě virtuálních efektů. [16]

2.6.2 Unity

Je další oblíbený engine používaný velmi často pro vývoj VR aplikací. Hlavní výhodou je podpora programů, které mohou běžet na více počítačových platformách a rozsáhlá komunita vývojářů. Unity nabízí snadné propojení s AR technologií a poskytuje nástroje pro práci s interaktivními prvky ve VR prostředí. Díky své univerzálnosti nachází často uplatnění v herním průmyslu, ale i v průmyslových simulacích nebo vzdělávání. Tento software podporuje také rozšířenou realitu (AR) skrze platformy od APPLU a Googlu. Výhodou pro vývojáře je možnost pracovat v Unity jak s 3D obsahem, tak i s 2D. To umožňuje tvorbu hybridních aplikací, které kombinují AR a VR zařízení. [17]

2.6.3 VUFORIA

Je určena výhradně pro rozšířenou realitu (AR) ale nabízí i některé nástroje, které se dají použít pro virtuální realitu. Zaměřuje se hlavně na rozpoznávání objektů a prostorovou navigaci, což nachází uplatnění pro medicínské aplikace, ale tak školení pracovníků nebo interaktivní marketing. Jednou z jeho výhod je použitelnost s Unity a dalšími vývojovými nástroji. Vuforia dovoluje práci s aplikacemi, které mohou rozpoznávat jak unikátní vizuální značky, tak reálné objekty a prostředí. Hlavní využití nachází při vytváření průmyslových návodů a při školení pracovníků pomocí AR brýlí. [18]

2.6.4 Autodesk VRED a REVIT

Autodesk nabízí několik profesionálních nástrojů pro vizualizace v rozšířené (AR) a virtuální (VR) realitě.

Autodesk VRED nachází uplatnění především v automobilovém a průmyslovém designu, kde dovoluje vývojáři realistické vizualizace v reálném čase a spolupráci mezi jednotlivými týmy pomocí VR technologií. Dále je možné prezentovat modely v plném měřítku a prohlížet modely, což je výhoda při rozhodování o finálním produktu. Naproti tomu je Autodesk Revit software pro architektonické návrhy a stavební vizualizace. Umožňuje například modelování budov s možností interaktivního prohlížení ve VR. To ulehčuje komunikaci mezi architekty, investory a stavebními firmami. Revit má výhodu, že podporuje informační model budovy tzv BIM, což znamená, že každý 3D model má vizuální vyobrazení, ale obsahuje i technická data o stavbě. To umožňuje zahájení stavebních prací. [19]

2.6.5 CRY Engine

Je především herní engine používající se pro VR aplikace. Nabízí realistickou fyziku, což ho činí perspektivním pro náročné vizualizace a simulace. V porovnání s Unreal Engine, nebo Unity není tak rozšířený, přesto poskytuje velmi kvalitní výstupy pro VR aplikace v herním průmyslu, ale i v průmyslových simulacích. CRYEngine umožňuje využívat plný výkon moderních grafických karet. Jeho uplatnění je v leteckých simulátorech, vojenském výcviku a vzdělávacích aplikacích. [20]

2.7 Typy brýlí podle účelu

Chytré brýle je možné použít hned několika způsoby. Mohou být použity například pro zaznamenávání postupů, zaučení nových zaměstnanců nebo pro vytvoření konstrukcí. Je možné je tedy použít pro digitální pracovní postupy, vzdálenou spolupráci, v logistice nebo při 3D vizualizaci.

Digitální pracovní postupy – může být použito pro zaškolení zaměstnanců. Přimo v brýlích se ukazují instrukce, které se rovnou mohou aplikovat do praxe. Zaměstnanec tak může dostat rychleji jistotu a osamostatnit se ve své práci a vykonávat ji správně a v požadované kvalitě. Jednotlivé kroky je možné zkontrolovat, vyhodnotit či vyfotit.

Vzdálená spolupráce – pokud je potřeba komunikovat na dálku nebo nahlédnout do toho, co osoba vidí ze svého pohledu, jsou pro tyto účely chytré brýle ideální. Hodí při servisu a údržbě, kde jde navíc posílat výrobní manuály či schémata zapojení pouhým kliknutím, dá se do podkladů i zakreslovat. Veškerou práci, kterou provádíte, můžete na chytré brýle nahrávat a v budoucnu ji využít.

Vision picking v logistice – pro rychlejší vyřizování objednávek je možné využít displej chytrých brýlí, na kterém uvidíte veškeré potřebné informace. Tímto způsobem budete rychlejší, efektivnější a vyvarujete se zbytečných chyb. Brýle se ovládají pouze hlasem, což je velmi praktické. K dispozici je několik jazyků, tudíž nemusíte mluvit jen česky. Všechny provedené úkony jsou navíc automaticky zaznamenávány a ukládány.

3D vizualizace dat v prostoru – v případě, pokud plánujete projekt, můžete jeho návrh promítnout do reálného prostředí a prezentovat ho zákazníkovi nebo dodavateli. Tímto způsobem lze uspořádat i školení zaměstnanců, kde zobrazujete digitální model v prostoru a navádíte osobu s chytrými brýlemi krok za krokem pomocí zobrazovaných pokynů. Využití můžete také tzv. digital overlay, kdy zobrazujete digitální instrukce přímo na reálném stroji.

2.8 Typy brýlí podle typu reality

Brýle vám mohou poskytnout různé typy reality, přičemž mohou naprosto nahradit tu existující, nebo lze kombinovat virtuální realitu a to, co ve skutečnosti vidíme. Zjednoduší se tak spousta kroků – můžete prezentovat návrhy mnohem jednodušeji, nebo také lze provádět činnosti dle manuálu přímo před vašimi očima.

2.8.1 Brýle pro virtuální realitu

Brýle pro virtuální realitu (VR) jsou zařízení, která umožňují uživatelům zažít iluzi, že jsou ponořeni do plně virtuálního prostředí. Tyto brýle obvykle obsahují obrazovky před očima uživatele, které zobrazují 3D grafiku a vytvářejí iluzi prostoru a pohybu. Při jejich používání se uživatel cítí, jako by se skutečně nacházel ve virtuálním světě a může se v něm pohybovat a propojovat s objekty pomocí speciálních ovladačů nebo senzorů.

Většina VR brýlí obsahuje také vestavěné senzory sledující pohyb uživatele, jako je například pohyb hlavy a očí, aby se iluze pohybu a prostoru ještě více prohloubila.

Mezi nejznámější VR brýle patří Oculus Rift, které byly poprvé představeny v roce 2016. Tyto brýle jsou určeny především pro herní účely, ale mohou být také použity pro různé tréninkové a vzdělávací programy. Dalšími populárními značkami VR brýlí jsou HTC Vive, Sony PlayStation VR a Samsung Gear VR.

Používají se například pro zábavu a hry, ale také v průmyslu, lékařství, vzdělávání, architektuře a dalších odvětvích, kde simulují lety, chirurgické tréninky, architektonické vizualizace i virtuální prohlídky.

2.8.2 Brýle pro rozšířenou realitu

Umožňují uživatelům vidět a propojovat s virtuálními objekty a informacemi ve skutečném světě. Takovéto brýle obvykle obsahují obrazovku nebo projektor, který zobrazuje digitální obsah před očima uživatele. Jedním z nejznámějších příkladů brýlí pro rozšířenou realitu jsou Google Glass, které byly poprvé představeny v roce 2013. Tyto brýle umožňují uživatelům zobrazovat informace, jako jsou zprávy, e-maily a mapy, přímo před jejich očima. Google Glass také umožňují uživatelům nahrávat videa, pořizovat fotografie a provádět hlasové ovládání.

Můžete je využít buďto na jedno oko (monokulární brýle) nebo na obě oči (binokulární brýle), čímž zobrazíte 3D objekty.

Využívají se zejména jako:

- Podpora pracovníků v provozu formou asistované vzdálené podpory, provádění pracovním postupem nebo kontrolním procesem ve výrobě či servisu a údržbě.
- Školení zaměstnanců a smluvních pracovníků na produkt, jeho servis a údržbu.
- Skladové operace (Vision Picking) místo ručních terminálů či hlasového vychystávání.
- Vizualizace výrobků v reálném prostoru – například v cílovém prostředí zákazníka nebo na výstavách či obchodních schůzkách.

2.8.3 Brýle pro smíšenou realitu

Tento druh brýlí kombinuje prvky virtuální reality (VR) a rozšířené reality (AR), aby uživatelům umožnily propojení s virtuálními objekty a informacemi ve skutečném světě. Vytvářejí iluzi, že virtuální objekty jsou součástí skutečného prostředí. Uživatelé mohou vidět digitální obsah promítaný před očima v kombinaci se skutečným světem. Jedním z nejznámějších příkladů brýlí pro smíšenou realitu je Microsoft HoloLens, které byly poprvé představeny v roce 2015.

Tyto brýle umožňují uživatelům vidět a interagovat s virtuálními objekty, které jsou přesně umístěny ve svém prostředí. Například technici mohou používat tyto brýle pro zobrazení návodu k opravě přímo před svými očima, aniž by museli číst manuál nebo se dívat na počítač. V architektuře a stavebnictví mohou designéři používat MR brýle pro vizualizaci budov nebo úpravy návrhů přímo ve skutečném prostředí.

Brýle pro smíšenou realitu nabízejí mnoho přínosů oproti běžným VR nebo AR brýlím, protože dokáží integrovat virtuální objekty do reálného světa a umožňují uživatelům s nimi interagovat. Tyto brýle jsou stále ve vývoji a očekává se, že budou mít širší uplatnění v budoucnosti. [21]

3 Možnost využití brýlí v jaderné energetice

Využití brýlí v jaderné energetice je zaměřeno v oblasti kontroly, online komunikaci, pochůzek nebo dokumentování stavu, který souvisí s provozem, údržbou technologie v jaderné elektrárně. Tato nejmodernější technika dokáže ve složitém prostředí technologie jaderných elektráren jako je hluk, kabelové trasy nebo složitá potrubí zefektivnit a usnadnit práci pracovníků jaderné elektrárny. Má také velký vliv na zaškolení pracovníků jaderné elektrárny.

Skupina ČEZ, a.s. patří mezi největší ekonomické subjekty nejen v České republice ale také ve střední Evropě. Její dlouhodobou vizí je přinášet inovace pro řešení potřeb jaderné energetiky. Ta vede k vyšší efektivnosti výroby a distribuci elektrické energie a tepla.

Začlenění takovéto technologie, jenž kombinuje rozšířenou a asistovanou realitu může znamenat značný přínos. Díky chytrým brýlím by bylo možné zkrátit odstávky výrobních bloků o určitý časový úsek, řešení poruch nebo řešení nestandardních stavů technologie, budeme mluvit o velké finanční úspoře v rámci i milionů korun.

Za pomoci brýlí je možné přenášet promítání fotografií či video dokumentace na dálku nebo návodně zakreslování přímo do přenášeného obrazu. To může značně pomoci při řešení úkolů. Díky tomuto by mohl být na plnění úkolu zaslán samostatně i méně zkušený pracovník a rychleji by takto mohlo být reagováno na vzniklé situace.

Přináší to tedy zefektivnění procesu školení nového personálu, zkrácení doby potřebné k jeho zpracování, eliminace možných chyb. V prostředí jaderné elektrárny může mít zaměstnanec umístěné digitální brýle přímo na ochranné přilbě spolu s odhlučněným mikrofonem, který přenáší čistý zvuk i přes okolní hluk. [22]

3.1 Digitalizací k zelené energii

Využití této technologie v jaderné energetice má vliv také na životní prostředí. Zapadá tedy do plánu na zelenější výrobu energie.

3.2 Bezpečnost práce

Za využití chytrých brýlí v jaderné energetice se zvyšuje rychlost a bezpečnost práce. Pracovníkům v jaderné energetice tato technologie uvolní ruce. Nemusí v nich totiž nosit tablet nebo počítač a vidí celý proces přímo před sebou v reálném čase. To stejné, co vidí pracovník vidí také operátor a může pracovníkovi poradit na základě toho, co vidí. Pro takovýto proces digitalizace je potřeba převést klíčové dokumenty a činnosti do elektronické formy. Poté se mohou schémata, pracovní pokyny nebo protokoly zobrazovat přímo na brýlích.

3.3 Kontroly a monitorování

Chytré brýle s AR technologií mohou podpořit tento proces. V reálném čase přímo v zorném poli pracovníka během inspekce mohou monitorující senzory upozornit na tlak, teplotu, radiaci nebo úroveň hluku přímo na obrazovku brýlí, čímž se minimalizují potřeby zastavení práce a kontrola dat na externích zařízeních jako jsou například tablety. Vizualní inspekci a diagnostikou mohou při využití AR brýlí zvýraznit oblasti, které by vyžadovali pozornost například detekce

mikroprasklin, uniky nebo abnormality v zařízeních. Může také docházet k podpoře v terénu kdy inspektoři mohou snadno získat vzdálený přístup k odborníkům a mohou složité závady na dálku konzultovat s odborníky prostřednictvím videohovorů a sdílet zobrazené obrazy nebo data pro okamžitou analýzu a doporučení.

3.4 Školení a vzdělání pracovníků

Klasické školení může být jak časově náročné, tak také nákladné, zvláště pokud je třeba použít simulaci krizové situace. Možnosti využití AR v tomto odvětví může být následující:

Interaktivní školení a simulace – za pomoci AR mohou absolvovat pracovníci simulace možných reálných situací jako únik radiace nebo havárie reaktoru. AR umožní pracovníkům prožít jednotlivé nebezpečné situace v bezpečném a kontrolovaném prostředí. Toto pomáhá zlepšit reakci v případě, že by situace skutečně nastala.

Vzdálené školení – je možné za pomoci AR zprostředkovat školení na dálku. Zkušený instruktor může za pomoci videohovorů a doprovodných vizuálních materiálů, jenž jsou promítány přímo na brýlích školeného pracovníka poskytovat rady nebo jej přímo vést. Toto je přínosem zejména pro školení v terénu nebo na odlehlých místech.

Zobrazení pracovních pokynů – je možné za pomoci brýlí zobrazit pracovníkům krok po kroku pokyny k provedení daných úkolů například instalace či údržba zařízení. Takto se výrazně zvyšuje přesnost prováděných operací, což vede k minimalizaci rizika v jaderné energetice. [23]

3.5 Údržba a opravy zařízení

Údržbou v jaderné energetice je myšleno pravidelná kontrola, diagnostika poruch a opravy vyžadující vysokou přesnost a odbornost. Využití brýlí může výrazně urychlit a zjednodušit práci, snížit riziko chyb a zlepšit bezpečnost pracovníků. Možné využití brýlí při údržbách a opravách mohou být následující:

Pokročilé vizualizace pro údržbu – brýle mohou zobrazit 3D model zařízení, které je potřeba vyměnit nebo opravit přímo na místě. Pracovník takto může přesně vidět umístění jednotlivých součástí spolu s podpůrnými informacemi o potřebném nástroji, jeho specifikaci a pokyny k opravě.

Virtuální návod a opravy – při technickém problému může mít pracovník k dispozici také virtuální návod k opravě přímo ve svém zorném poli. Tím se zjednoduší proces diagnostiky a opravy. Může také vidět podrobná schémata a pracovní diagramy zařízení.

Vzdálená podpora expertů – využití videohovorů prostřednictvím chytrých brýlí k okamžité konzultaci s odborníky, jenž mohou poskytnout instrukce a poradit tak na dálku v případech složitějších oprav.

3.6 Bezpečnostní a krizové situace

Jestli je něco absolutní prioritou v jaderné energetice, pak je to bezesporu bezpečnost. Při krizových situacích je kladen velký důraz na rychlost, přesnost a koordinaci. Chytré brýle mohou v tomto pomoci řešit simulace krizových scénářů a efektivně a rychle komunikovat v reálném čase. Možné využití je následující:

Vizuální podpora při evakuaci – v případě potřeby evakuace mohou chytré brýle poskytnout pracovníkům vizuální pokyny, kdy najdou nejbližší únikových vchod nebo bezpečnostní zónu. Došlo by tak k urychlení evakuace.

Podpora v krizovém managementu – pokud by vznikla havarijní situace, mohly by chytré brýle zobrazovat reálná data o aktuálním stavu havárie v reálném čase, hodnotě radiace, výšší teploty, či dalších kritických parametrech. Brýle v této situaci by mohli operátorům pomoci při koordinaci a rozhodování při zásahu.

Real-time analýza dat – zobrazení analýzy a doporučení pro operátory v reálném čase například v případě havárie. Toto by umožnilo efektivní reakci na krizovou situaci.

4 Praktická část

Skupina ČEZ a.s. je patří mezi největší ekonomické subjekty nejen v České republice ale rovněž ve střední Evropě. Jedná se o velice stabilní energetickou skupinu. Má dlouhodobou vizi přinášet inovace vyhovující energetickým potřebám. Ty by měly vést k vyšší efektivitě výroby a distribuce elektrické energie a tepla.

Právě z tohoto důvodu se rozhodla skupina ČEZ a.s. zahrnout chytré brýle do prostředí jaderných elektráren jak v Temelíně, tak v Dukovanech, kde se vyrobí třetina elektrické energie vyráběná v České republice. Tato inovace by měla být přínosem jak ke zvýšení produktivity servisních týmů, vést ke zkrácení technologických odstávek zařízení a tím pádem by mělo docházet také ke značným úsporám. Nasazení této technologie předchází dlouholetý proces digitalizace, kdy jsou klíčové dokumenty převáděny do elektronické formy.

Chytré brýle jsou směřovány hlavně do servisní oblasti jako jsou dokumentování, kontroly, pochůzky, online komunikace a dokumentace stavů, které souvisí jak s provozem, tak také s údržbou technologie v jaderné elektrárně. I přesto, že v jaderné elektrárně je složité prostředí technologie jako je hluk, složité kabelové trasy nebo potřebí, dokáže tato nejmodernější technika zefektivnit a usnadnit práci provozních pracovníků elektráren. Je také velký pomocník v zaškolení nového provozního personálu.

Na jaderné elektrárně Temelín již proběhlo úspěšné testování. Řešení pro jadernou elektrárnu navrhla společnost AYES. Jedná se o chytré brýle značky RealWear Navigator™ 500 společně se softwarem TeamViewer Frontline xAssist, která slouží na vzdálenou komunikaci ale také softwarem TeamViewer Frontline xInspect sloužící k pracovním postupům. Dále pak tato firma dodala na míru pro skupinu ČEZ a.s. další věci jako je školení, konzultace nebo uživatelská podpora.

Testování na jaderné elektrárně probíhalo jeden měsíc s úspěšným koncem. Odzkoušen byl obrazový i zvukový přenos z provozu na blokovou dozornu jaderné elektrárny přes vzdálenou podporu. Dokumenty byly sdíleny na dálku a vytvářela se jak foto, tak video dokumentace, monitorovala se technologie, systém řízení, ověření procesů a také školení personálu. Testování brýlí představuje další krok k modernizaci a větší efektivitě.

Nyní se ověřuje propojení se stávající mobilní podporou provozu elektráren a rozšiřuje se využití vyššího školení zaměstnanců se zaměřením na snížení počtu chyb a jejich identifikaci.

Při testování byly odhaleny další potřeby zajištění konektivity GSM a WiFi provozu elektráren, které vycházejí z plnění náročných podmínek vycházejících ze studií EMC. Rovněž se řeší i záležitosti právního charakteru jako kybernetická bezpečnost, GDPR nebo dodržení požadovaných podmínek.

Začlenění rozšířené a asistované reality znamená pro jadernou energetiku významný přínos. Přínos je zejména o urychlení odstávky výrobních bloků. Pro představu, pokud dojde o zkrácení odstávky o pouhou jednu hodinu znamená to v jaderné energetice úsporu v řádech milionů korun.

Při měsíčním testování nedošlo k žádné poruše v komunikaci celého systému. Promítání foto a video dokumentace na brýlích se sdílením na dálku či návodné zakreslování přímo do přenášeného obrazu se jeví jako skutečně velká pomoc při řešení úkolů. Z tohoto důvodu je

možné vyslat samostatně na řešení úkolu i služebně méně zkušené kolegy a rychleji reagovat na vzniklé situace.

Využití chytrých brýlí nabízí možnost výrazně zefektivnit zaškolení nového provozního personálu. Umožňuje zkrátit dobu zaškolení, ale také snížení možných chyb, což má za následek jak snížení časového fondu, tak i finančních úspor. V elektrárně se pohybujete mnohdy v náročném prostředí ať už sníženém nebo s radioaktivitou kdy je zapotřebí mít oblek. Proto je ideální, že společnost sáhla po brýlích, které je možné umístit na ochranu přilbu. Součástí jsou také odhlučňené mikrofony přenášející čistý zvuk i při okolním hluku 100 dB.

Nastává tak za mě důležitá etapa nových digitálních technologií, která zapadá do plánů skupiny ČEZ a.s., a to na zelenější výrobu energie. Zvažuje se postupné rozšíření do všech servisních oblastí. Dále pak pro činnosti souvisejících s provozem jaderné elektrárny. Tím se zjednoduší práce servisních techniků a týmu údržby. Dojde tak k redukci nároků na fyzické inspekční aktivity a významně se zefektivní procesy. Na základě tohoto se předpokládá snížení nákladů a také uhlíkové stopy. [24]

4.1 RealWear Navigator™ 500

Jak jsem již zmínil skupina ČEZ a.s. se rozhodla pro prostředí jaderné elektrárny testovat chytré brýle značky RealWear Navigator™ 500. Tyto brýle byly navrženy právě pro využití v průmyslu.

Jedná se o odolné řešení asistované reality. Brýle jsou navrženy tak, aby zapojily, posílily a pozvedly pracovníky na vyšší úroveň dnešní moderní doby. Umožňují propojit odborníky a pracovníky na dálku. Je možné sledovat digitální pracovní postupy nebo vizualizaci dat. Brýle RealWear Navigator™ 500 byly navrženy pro výkonnost a bezpečnost. Nabízí celo směnné využití, hands-free. Baterii je možné pohodlně vyměnit i během provozu. Brýle zlepšují výkonnost, snižují cestovní náklady a snižuje prostoje zařízení. Revoluční modulární design pomáhá zajistit rychlý chod a přizpůsobit se na pracovišti. Umožňuje také bezpečné a bezproblémové přihlášení a nasazení v podniku. Tím se zkracuje potřebný čas a zajišťuje se hladký průběh během uvádění zařízení do provozu, jejich nasazení a bezpečné spárování. [25]



Obrázek 6 Popis brýlí RealWear Navigator™ 500

Zdroj: Ayes (2025)

Brýle RealWear Navigator™ 500 se skládají z několika komponentů:

- **Displej:** je navržen jako monokulární mikro-displej, tedy že je určený, aby ho uživatel sledoval jedním okem. Účelem displeje nicméně není nahradit celé zorné pole ale dodat malý a ostrý obraz, který působí dojmem, jako by se díval na obrazovku o velikosti cca 7 palců ze vzdálenosti 1 metr. Má 0,32 palců LCD s rozlišením 854x480 (WVGA), zorné pole má 20 stupňů, funguje jako hlasově ovládaný tablet. Displej lze snadno naklonit a nastavit před pravé nebo levé oko (dle preferencí uživatele). Má nastavitelný jas, který je viditelný i na denním světle.
- **Kamera:** Má elektronickou stabilizaci (EIS) tedy minimalizuje roztřesení, modul má 48 Mpx s optickou stabilizací obrazu, až 6násobný zoom a možností výměny za termokameru FLIR, má automatické ostření včetně makro režimu, kamera je vysoce citlivá na světelnost a má schopnost pracovat i v méně osvětlených prostorách
- **Procesor a paměť:** 8jádrový Qualcomm Snapdragon 662 (2,0 GHz), 4 GB RAM, 64 GB interní paměti s možností rozšíření až na 512 GB pomocí microSD karty
- **Operační systém:** Android 11 (AOSP) s nadstavbou WearHF™ pro hlasové ovládání
- **Audio:** obsahuje 4 mikrofony s potlačením okolního hluku až do 100 dB, vestavěný reproduktor a 3,5 mm audio jack.
- **Konektivita:** Wi-Fi (2,4/5 GHz), Bluetooth 5.1, GPS, Glonass, BeiDou, Galileo, QZSS, SBAS, NavIC s podporou dvoufrekvenčního GNSS (L1 + L5).
- **Napájení:** Vyměnitelná baterie (hot-swap) s kapacitou 2600mAh, která má výdrž až 9 hodin
- **Odolnost:** brýle mají certifikaci IP 66 (odolnost proti prachu a vodě), splňuje vojenský standard MIL-STD-810H, jsou také odolné proti pádu z výšky až 2 metry
- **Hmotnost:** brýle váží přibližně 270 g



Obrázek 7 Rozložení kamery brýlí RealWear Navigator™ 500 na části

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 8 Displej brýlí s aplikacemi připojení

Zdroj: Vlastní zpracování

Na displeji brýlí je možné vidět několik aplikací. Na obrázku jsou základní aplikace, přes které je možné propojit chytré brýle RealWear Navigator™ 500 jako je software Vuforia expert capture, Microsoft Teams, ZOOM, Webex Expert on Demand, Intoware WorkfloPlus, Librestream Onsite Connect, Augmentif, AMA XpertEye.

Tabulka 1 Specifikace RealWear Navigator™ 500

OBECNÉ	
Operační systém	Android 11(AOSP) + WearHF™ hands-free rozhraní + podnikové funkce
Čipová sada	2.0 GHz 8 jádrový Qualcomm Snapdragon™ 662 s Adreno 610 GPU – Open GL ES3,2 OpenCL™2.0
Paměť	64 GB vnitřní úložiště/ 4 GB RAM/ slot pro MicroSD (max. velikost paměťové karty 512 MB)
Hmotnost	9.5 oz/ 270 g
Odolnost	IP66, MIL-STD-810H, pád ze 2 metrů/ 6,5 stop
Vyhrazená tlačítka	Tlačítko napájení (s integrovaným senzorem pro snímání otisku prstu), programovatelné: ovládací tlačítko, levé a pravé tlačítko
Porty	1/8" / zvukový port 3,5 mm, 1 USB typu C
Nastavitelné rameno	Možnost nastavení šesti způsobů pro většinu velikostí hlavy, kompatibilní s levým nebo pravým okem. Displej lze v případě nepoužívání přesunout
Provozní teplota, vlhkost	-20 °C až +50 °C / +4 °F až + 122 °F, relativní vlhkost 5 % až 95 % (nekondenzující)
Zahrnuté aplikace	Navigátor dokumentů, Fotoaparát se čtečkou čárových kódů, nahrávač zvuku, videorekordér, prohlížeč webových stránek, cloudová synchronizace, přehrávač médií, kalkulačka, krokoměr, časovač

Podporované jazyky a dialekty	Čínština, čeština, nizozemština, angličtina, francouzština, němčina, indonéština, italština, japonština, korejština, polština, portugalština, ruština, španělština, thajština
Možnosti přihlášení	Doprovodná aplikace, Hlasová klávesnice se zabezpečeným režimem
KONEKTIVITA A SENZORY	
Bluetooth	Bluetooth 5.1
WiFi	802.11 a/b/g/n/ac – 2,4 GHz a 5 GHz
GPS a poloha	GPS, Glonass, BeiDou, Galileo, QZSS a SBAS, podpora navíc, dvou frekvenční GNSS (L1 + L5), nastavení polohy pomocí senzoru Qualcomm
IMU – pohyb hlavy	3 IMU (včetně 3osých akcelerometrů, gyroskopů, eCompass
BATERIE	
Kapacita	2600 mAh/ 10.0 Wh Lithium-polymer, dobíjecí, vyměnitelná za provozu
BEZPEČNOST	
Bezpečnost	Prostředí qualcomm Trusted Execution Environment, Crypto Engine, Secure Boot
ZVUK	
Mikrofon	4 digitální mikrofony s aktivním potlačením hluku, přesné rozpoznávání hlasu v hluku až do 100dBA
Reproduktor	Vnitřní reproduktor 94 dBA
FOTOAPARÁT	
Obrázek	Sensor 48 Mpx, PDAF s LED svítilnou
Video	Rozlišení až 1080p při 60fps, >6X zoo v HD, stabilizace obrazu, Kodeky: VP8, VP9, H.264, H.265, HEVC
Kompatibilita	
OOP	Kompatibilní s mnoha přílbami, ochrannými brýlemi, maskami a dalšími prostředky
ZÁRUKA	
Záruka	Záruka 1 rok
Rozšířené plány servisu a podpory	Dostupné
DOPLŇKY	
Součástí	Pás na čelo Workband, nabíjecí kabel USB typu C
Cloudové služby	
Foresight	Zrychluje centralizovaná nasazení a správu zařízení

Zdroj: Vlastní zpracování

4.2 Digitální pracovní postupy

4.2.1 Zefektivnění pracovních postupů a eliminace tištěných materiálů

Brýle RealWear Navigator™ 500 zobrazují přesné informace přímo před očima. Vedou tak pracovníka krok po kroku složitými pracovními postupy či kontrolou. Všechny činnosti by díky tomuto měly být provedeny ve stanoveném pořadí, správným způsobem a také v požadované kvalitě. Protože využívají smíšenou a rozšířenou realitu dochází díky tomu také ke zkrácení potřebného času ke zaškolení nových pracovníků.

4.2.2 Urychlení nástupu nových zaměstnanců

Jak již bylo zmíněno díky chytrým brýlím je možné zkvalitnit zaškolení nového zaměstnance a rychleji využívat jeho odborné znalosti v provozu. Prvotním školením prochází pracovník samostatně za pomoci digitálních instrukcí chytrých brýlí. Ty mu přesně vysvětlí základní obsah jeho budoucí práce. Tyto brýle pak následně může využívat i při každodenní činnosti. Získává tak i jistotu a mnohem rychleji se v práci osamostatní.

4.2.3 Standardizace pracovních postupů

V průmyslových závodech narážíme na typický problém, a to nestálou kvalitu prováděných každodenních prací nebo naopak málo častých servisních a údržbových činnosti. Chytré brýle mohou tyto činnosti standardizovat a vykonávání jednotlivých kroků údržby a servisu podmínit například slovním potvrzením pracovníka či vyfocením. Tyto kroky je možné dokonce automaticky kontrolovat a vyhodnocovat. Tím je možné zjistit, zda zaměstnanec realizuje všechny činnosti ve stanoveném pořadí, správným způsobem a v požadované kvalitě. Brýle RealWear Navigator™ 500 jsou kompatibilní s širokou škálou externích zařízení jako termální kamera, měřidla či dokonce digitální šuplera. Z nich lze data čerpat. Vzhledem k tomu, že je zde možnost ukládání všech procesů v digitální podobě, což vede ke zpřehlednění a jednoduché dohledatelnosti požadovaných dat v čase, jedná se o 100 % bezpapírové provádění pracovních postupů.

4.3 Vzdálená spolupráce

4.3.1 Poskytnutí vzdálené podpory odbornými pracovníky v reálném čase

Chytré brýle se smíšenou a rozšířenou realitou umožňují pracovníkům vzdáleně spolupracovat v reálném čase. Mohou poskytnout podporu servisním pracovníkům nebo údržbářským týmům, které potřebují zpětnou vazbu a informaci od vzdáleného pracovníka. Chytré brýle je možné využít také při auditu výroby, virtuální prohlídce továrny, přejímce a instalaci různých zařízení.

4.3.2 Spolupráce v reálném čase

V rámci videohovoru můžete vidět vše z pohledu pracovníka, který má brýle na helmě. Tímto získává pracovník sedící na druhé straně zcela novou možnost spolupráce, která vede k velkým

úsporám nákladů na údržbu a servis, zvýšení efektivity a kvality prováděných úkonů nebo minimalizaci rizika odstávky výroby.

4.3.3 Sdílení souborů

Technické oddělení se v mnoha případech potřebuje odkázat na výrobní postupy, schémata, manuály. Vzdálený odborník může odeslat potřebný soubor pouhým kliknutím do zorného pole technika. V případě potřeby může do sdílených podkladů také zakreslit následující pokyny.

4.3.4 Nahrávání relací

Pomocí chytrých brýlí je možné natáčet všechny prováděné činnosti a záznam pak v budoucnu použít pro nejrůznější účely například prokázání kvality provedené práce nebo příprava školících materiálů pro nové zaměstnance. Ihned po skončení videohovoru se vygeneruje PDF report s kompletním záznamem informací řešených v dané relaci. Virtuální brýle mají certifikované zabezpečení a end-to-end šifrování, které zajišťuje nejvyšší bezpečnostní stupeň ochrany hovorů.

4.4 3D vizualizace dat v prostoru

4.4.1 Práce s 3D modely v reálném prostředí

Vizualizace chytrých brýlí umožňuje umístění 3D objektů do reálného světa, uchopuje je a pohybuje s nimi přirozeným způsobem. Může se jednat o audit výroby, bezpečnost a údržba strojů, zjištění konstrukčních chyb, plánování výroby nebo zaškolování nových zaměstnanců.

4.4.2 Digitální návštěva výroby a plánování rozvoje

Chytré brýle se smíšenou realitou lze využít také při plánování a projektování například výměna zařízení používaného v JE. Zvažované řešení v podobě konkrétní součástky nebo přímo celého zařízení stačí nahrát v měřítku 1:1 do brýlí a následně promítnout do reálného prostředí.

4.5 Urychlení a zácvičení nových zaměstnanců

Na jaderných elektrárnách je kladen velký důraz na kvalifikaci a připravenost zaměstnanců. Každý nově příchozí zaměstnanec musí při nástupu projít školením a praktickým zácvičením, který je zaměřen na odbornost, pro kterou byl pracovník vybrán. Jaderné elektrárny, potažmo ČEZ klade velké nároky na vzdělávání a přenos mezi zkušenými pracovníky a novými kolegy. Velkým přínosem může být využití moderních technologií. Chytré brýle RealWear Navigator™ 500 otevírají nové možnosti v zaškolování.

4.6 Využití brýlí na školícím středisku JE.

Využití modelu vybraných brýlí bude možné i na školícím středisku v Brně, kde nový zaměstnanci procházejí školením před nástupem do ostrého provozu Jaderné elektrárny.

Teoretická příprava probíhá v učebnách na školícím středisku v Brně a může být doplněná o videomateriály, které jsou natočené přímo v provozu a napomáhají lepšímu a rychlejšímu pochopení technologie. Další využití brýlí RealWear Navigator™ 500 vidím v tom, že každý nový zaměstnanec může sledovat předem nahraný záznam z ostrého provozu při pochůzce a vidí technologii a prostředí v reálné velikosti. Dokáže si tak lépe představit, jak zařízení pracuje. Při stážích na JE v rámci školícího střediska má nový zaměstnanec brýle a je mentorován zkušeným pracovníkem na dálku. Je upozorňován na klíčové oblasti a zařízení. Velkým přínosem pak je, že jednotlivé záznamy se dají nahrávat a archivovat pro další analýzu. Školitel tím získává přesnější přehled o výkonu nového zaměstnance a může rychleji a efektivněji reagovat na jeho nedostatky. Zavedení chytrých brýlí do závčiku zaměstnance mělo několik výhod. Jako je například efektivnější zaškolení, a to díky přímé vizualizaci pracovních úkolů, kdy dochází k rychlejšímu pochopení provozu a pracovních postupů. Nový zaměstnanci se pak lépe a přesněji orientovali v prostředí elektrárny. Další výhodou je dálkový mentoring, kdy zkušený pracovník navádí nového kolegu na dálku. Tato funkce by našla uplatnění při pandemii covid-19, kdy byly omezeny osobní kontakty. V Jaderných elektrárnách je kladen důraz na bezpečnost a i zde, při závčiku nacházejí uplatnění chytré brýle. Možnost sledovat nového kolegu vzdáleně v reálném čase snižuje možnost vzniku chyb a zvyšuje bezpečnost. Díky záznamům, které byly pořízeny z pochůzek a činností prováděných novým kolegou je možnost najít slabá místa a zaměřit se na jejich odstranění.

Zaškolení nových zaměstnanců na Jaderné elektrárně je proces, který vyžaduje důslednou přípravu, podporu zkušených kolegů. Využití brýlí RealWear Navigator™ 500 přineslo efektivnější a modernější způsoby zaškolení a následně závčiku nových zaměstnanců.

5 Využití v ostrém provozu

Provoz jaderné elektrárny je technologicky náročné prostředí, které klade vysoké požadavky na přesnost, bezpečnost a efektivitu práce. Jakékoliv pochybení může mít vážné důsledky, jak pro samotné zařízení, tak pro životní prostředí a okolí Jaderné elektrárny. Proto je důležité, aby veškeré činnosti a pracovní postupy probíhaly dle provozních předpisů a dokumentace. Moderní technologie, jakou jsou chytré brýle RealWear Navigator™ 500, mohou přispět ke zlepšení všech výše uvedených procesů. Nasazení této technologie v ostrém provozu může přispět k lepšímu a efektivnějšímu provádění výkonu pracovních činností napříč všemi odbornostmi na Jaderné elektrárně. V této části diplomové práce analyzuji konkrétní příklady použití chytrých brýlí v reálném provozu, zkušenosti zaměstnanců a využití potenciálu pro budoucí rozvoj této moderní technologie.

Technologie jako jsou chytré brýle lze v ostrém provozu využít v mnoha oblastech, které vyžadují vizuální kontrolu, konzultaci s odborníky, vykonávání práce podle digitální dokumentace nebo získání zpětné vazby v reálném čase.

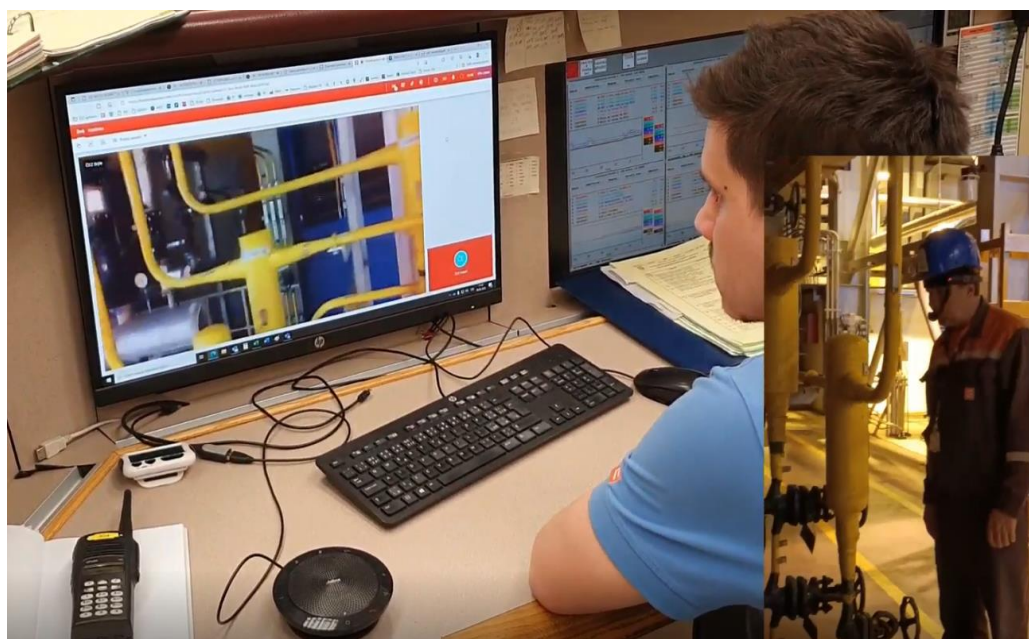
5.1 Provozní pochůzky a kontroly zařízení

Jedním z nejčastějších a vlastně i nejpřirozenějších způsobů, jak využít brýle RealWear Navigator™ 500 je při provádění pravidelných provozních pochůzek. Hlavním cílem při pochůzkové činnosti je vizuální a sluchová kontrola technologie a odečítání hodnot z místních měřících ukazatelů. Strojník, který se pohybuje po provozu a provádí kontrolu zařízení podle předepsaných podmínek a dokumentace může díky chytrým brýlím dokumentovat nalezené nesrovnalosti na technologii (fotografie, video, hlasové poznámky) a ihned je konzultovat s operátorem, popřípadě s osobou zodpovědnou za zařízení, a to včetně vizuálního přenosu. Po následné konzultaci může ihned reagovat a předejít tím závažnějšímu poškození technologie. Chytré brýle umožňují strojníkovi také při pochůzce nebo manipulaci se zařízením využívat tzv. checklist, kde jsou popsány jednotlivé kroky ke správnému zacházení s technologií. Díky možnosti hlasového ovládání má strojník obě ruce volné a může se více soustředit na samotnou kontrolu nebo manipulaci na zařízení.

5.2 Konkrétní příklady z praxe ostrého provozu.

1. Při pochůzkové činnosti strojník turbogenerátoru narazí na nesrovnalosti v měření hladiny v olejové nádrži HON (Hlavní olejová nádrž). Pomocí hlasového ovládání zaznamená hodnotu přes chytré brýle. Následně přidá poznámku do systému doporučující kontrolu těsnosti na olejovém hospodářství Turbogenerátoru nebo své zjištění může ihned konzultovat s operátorem II.O a následně i se správcem zařízení a rozhodnout se o dalším postupu. Výhodou je okamžitá komunikace a vizualizace na místě. Pokud jsou brýle propojeny se systémem údržby přes SAP je možno ihned zkontrolovat historii podobných poruch.

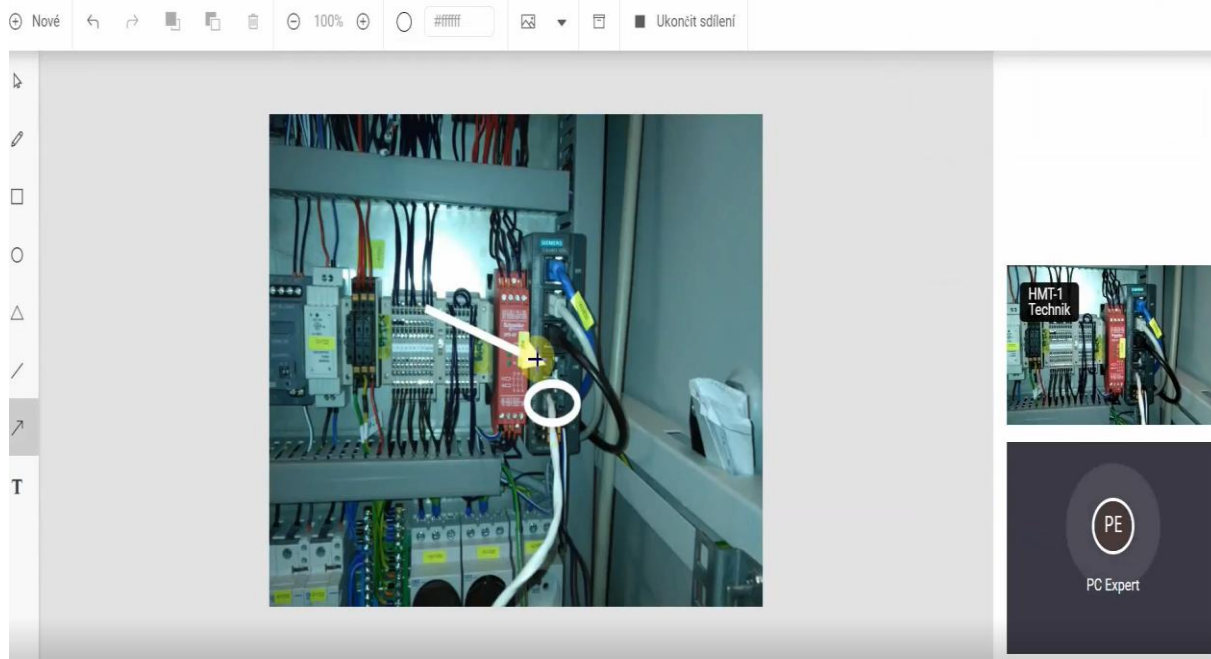
2. Strojník I.O vychází na plánovanou pochůzku s brýlemi RealWear Navigator™ 500. Během pochůzky má naplánovanou kontrolu čistoty VT (vysokotlakého dusíku). Tato činnost zahrnuje i manipulaci se zařízením a armaturami. Před zahájením kontroly se strojník spojí pomocí brýlí s operátorem I.O, který potvrdí spojení a vizualizaci v reálném čase. Následně oznámí operátorovi, v jakém prostoru, u jakého zařízení se nachází a jakou činnost jde provádět. Informuje operátora, s jakými armaturami bude manipulováno a pomocí třícestné komunikace dojde k potvrzení. Pomocí kamery pak celou zkoušku sleduje na monitoru a může tedy i v reálném čase ihned reagovat na vzniklé situace nebo upozornit strojníka na špatnou manipulaci. Zde vidím velký přínos hlavně v bezpečnosti, ale také v efektivním způsobu práce, kdy dochází k okamžité informovanosti o stavu kontroly



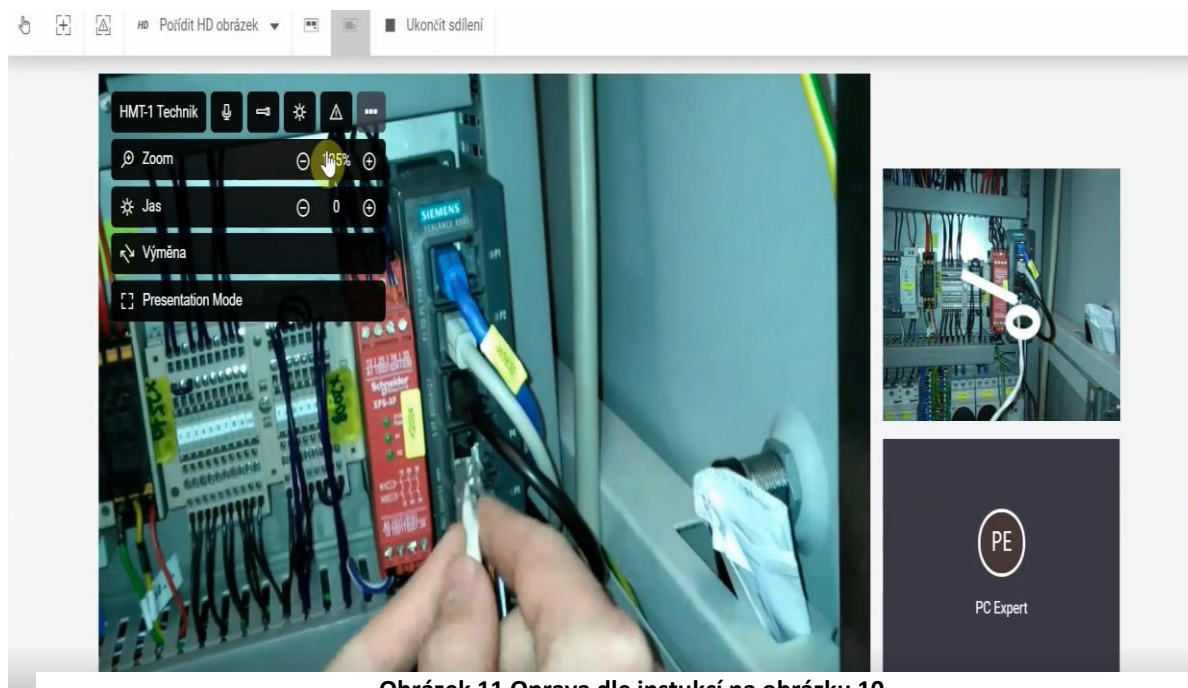
Obrázek 9 Komunikace mezi strojníkem a operátorem

Zdroj: Vlastní zpracování

3. Je nahlášena porucha na elektro zařízení a na místo je vyslán nový zaměstnanec oboru elektro. Jedná se o jeho první manipulaci se zařízením, na kterém je porucha. Požádá o spolupráci zkušenějšího kolegu. Nový zaměstnanec vyrazí na činnost s chytrými brýlemi a kolega ho sleduje přes monitor. Elektrikář dorazí na místo, kde se nachází zařízení a dochází k potvrzení funkčnosti vizualizace a komunikace. Novému zaměstnanci se nedaří identifikovat závadu. Zkušenější kolega díky vizualizaci a zkušenostem odhalí závadu. Dochází k vyfocení obrazovky a znázornění co je potřeba. Tento snímek, pak okamžitě vidí nový zaměstnanec v chytrých brýlích a provádí bezpečnou manipulaci. Hlavní přínos chytrých brýlí je ve využití časové efektivnosti a hlavně bezpečnosti, kdy by nový zaměstnanec mohl provést manipulaci nesprávně.



Obrázek 10 Zakreslení návodu opravy
Zdroj: Vlastní zpracování



Obrázek 11 Oprava dle instukcí na obrázku 10
Zdroj: Vlastní zpracování

5.3 Vývoj nových technologií a testování prototypů

Virtuální realita je v oblasti vývoje nových technologií důležitým nástrojem pro testování a ověřování inovací před jejich zapojením do ostrého provozu. Pomocí VR mohou vývojáři a inženýři simulovat celé systémy elektrárny, aniž by zasahovali do ostrého provozu. Takto vytvořená simulace by zahrnovala testování nových systémů na základě historických dat, analýzu jejich chování v ostrém provozu nebo testování jejich zapojení do stávajícího systému. Díky tomu by bylo možné vyzkoušet, zda nové technologie nejsou rizikem pro bezpečnost nejen zařízení, ale i lidského zdraví. Virtuální realita v této oblasti by přinášela výhody jako jsou bezpečnost a úspora nákladů. Testování nových systémů a prototypů ve virtuálním prostoru eliminuje potřebu vysoce nákladného a časově náročného testování v reálných podmínkách. Další výhodou je možnost rychle provádět změny a testovat různé scénáře a konfigurace bez nutnosti výstavby fyzických prototypů. Poslední výhodou, kterou vidím je přené testování extrémních podmínek, kdy VR umožňuje simulaci specifických podmínek, které by byly v reálném provozu náročné nebo nebezpečné.

Příklad z praxe

Při vývoji nového typu čerpadla pro sekundární okruh jaderné elektrárny může být využita VR k vytvoření simulace, která zobrazí různé scénáře zatížení a výkonu čerpadla. Vývojáři tak mají možnost otestovat, jak se čerpadlo bude chovat při různých tlacích a teplotách, aniž by museli čekat na fyzický prototyp. VR prostředí může navíc napodobit specifické závady, což výrazně zkracuje čas potřebný pro vývoj.

5.4 Údržba a technická podpora

V ostrém provozu nebo při plánovaných odstávkách na Jaderných elektrárnách je další klíčovou činností údržba technologie a zařízení. Každá údržba ať už plánovaná nebo nahodilá je prováděna podle předepsaných postupů a schválené dokumentace. Jakýkoliv zásah do zařízení musí být řádně naplánován, proveden, zdokumentován a schválen. Brýle RealWear Navigator™ 500 by mohly sloužit jako významný nástroj pro podporu údržbových činností. Umožňují pracovníkovi mít přímo před očima pracovní postup, technické výkresy nebo diagnostická data, aniž by musel přerušit práci a hledat papírovou dokumentaci. Hlasové ovládání usnadňuje hledání v jednotlivých částech pracovního postupu nebo dokumenty i když má rukavice nebo pracuje ve znečištěném prostředí. Při provádění údržby na zařízení může pracovník díky chytrým brýlím zaznamenat obrazový a zvukový záznam z prováděné opravy. Díky dálkovému propojení využít konzultaci s odborným pracovníkem nebo dodavatelem zařízení, který může sledovat obraz v reálném čase a navádět pracovníka krok za krokem. Pracovník dokáže potvrdit jednotlivé kroky checklistu nebo pracovního postupu hlasem bez nutnosti sundání ochranných pracovních pomůcek či přerušování prováděné práce. Tyto výhody zvyšují efektivitu údržby, ale zároveň snižuje riziko vzniku chyb, které mohou vzniknout neúplnou informací nebo špatnou komunikací. RealWear Navigator™ 500 také umožňuje sledovat přesný čas provedení jednotlivých kroků, což následně pomáhá při vyhodnocení a určení kvality údržby. Při propojení se systémem SAP jsou potom všechny činnosti na prováděném zařízení aktuální vlastně ihned. Chytré brýle by tak napomáhaly k přesnějším, kvalitnějším plánování údržby nejen na základě časového harmonogramu, ale díky získaným datům.

5.4.1 Vzdálená podpora a komunikace s odborníky

Vzdálená podpora a komunikace je další nedílnou součástí ostrého provozu na Jaderných elektrárnách. Často je potřeba konzultovat technické problémy nebo závady s odborníky. Běžně tato komunikace probíhá telefonicky, což má za následek menší možnosti vizualizace a nedohází ke kvalitnímu přenosu informací. To může mít za následek neefektivní využití času. Technologie RealWear Navigator™ 500 vnáší do toho procesu významný posun. Umožňuje totiž přímý přenos obrazu a zvuku přímo z terénu ke vzdálenému odborníkovi na danou problematiku. Pracovník může na místě ukázat přesně co vidí, a odborník rovnou poskytne řešení. Přes zabezpečené spojení se dá využít digitálních nástrojů jako je zvýraznění části obrazu, kreslení poznámek, nahrávání obrazového záznamu nebo ukázání konkrétní části dokumentace. Vše probíhá bez nutnosti přerušování prací. Využití této technologie se v jiných firmách osvědčilo zejména v době pandemie COVID-19.

5.4.2 Vlastní poznatek

Chytré brýle RealWear Navigator™ 500 jsou určitě přínosem pro jadernou energetiku. Jejich využitelnost je velmi velká a splňují všechny bezpečnostní prvky, na které je v JE kladen velký důraz. Ovšem stále je zde potenciál k ještě lepšímu využití. Pokud bychom chtěli chytré brýle využívat daleko efektivněji musí dojít k určitým změnám na technologii JE. Například každé zařízení označit QR kódem, který by nesl veškeré informace o daném zařízení jako jsou poruchovost, teplota, tlak, jaké médium zařízením prochází a pracovní postup opravy. Určitě bych doporučil propojení se systémem SAP nebo GOMS, aby bylo možné v reálném čase sledovat jaké činnosti se daným zařízením provádí, popřípadě kdy mají tyto činnosti skončit a zařízení bude znovu uvedeno do provozu. To ovšem nese úskalí, protože digitalizace na JE ještě není úplně dokončena, a to z důvodu bezpečnosti i technologie. Protože jsem měl možnost vyzkoušet brýle v ostrém provozu doporučil bych i zvětšení displeje na chytrých brýlích pro lepší orientaci na displeji. Snadnější hlasové ovládní nebo přidání ovládacích tlačítek pro případ velkého hluku na strojovně, kdy docházelo ke špatné ovladatelnosti. Určitě vidím budoucnost jaderné energetiky ve využívání těchto moderních technologií.

5.5 Řešení krizových situací

Bezpečnost a připravenost na mimořádné události jsou jedním ze základních pilířů provozu každé jaderné elektrárny. Odezva na krizové situace má přesně definované postupy, bezchybnou komunikaci a dostupnost co nejaktuálnějších informací v reálném čase. Technologie brýlí RealWear Navigator™ 500, by mohla díky své handsfree konstrukci a možnosti přímému propojení k systémům elektrárny, představovat nástroj, který může významně posílit reakční schopnosti operativních týmů, ale i jednotlivců v krizových situacích.

5.5.1 Rychlá komunikace a vizuální přenos

Jeden z hlavních přínosů brýlí RealWear Navigator™ 500 při řešení krizových událostí je schopnost navázat okamžitě spojení, a to jak pomocí vizualizace, tak pomocí zvuku mezi pracovníkem v terénu a operátorem, VRB (vedoucí reaktorového bloku), tak havarijním štábem. Pracovník, který se nachází na místě události, může přenášet obraz z postižené oblasti v reálném

čase. To umožňuje havarijnímu štábu a expertním týmům na dálku analyzovat situaci a vydávat konkrétní pokyny bez zdržení způsobeného přesunem osob nebo zprostředkovanou komunikací. Konkrétním případem může být situace, kdy dojde na II.O k úniku důležitého média, požáru, výpadku elektrického napájení. Pracovník, který dorazí na místo jako první, může okamžitě navázat spojení se směnovým inženýrem nebo VRB a dát mu přesné informace o místě poruchy, stavu zařízení a okolním prostředí. Tím se výrazně zkracuje čas, který je potřebný k vyhodnocení aktuální situace a navržení krizových opatření. Tento způsob komunikace je výhodou i tehdy, kdy na krizovou situaci narazí pracovník, který nemá potřebné znalosti a odborník mu na dálku zadává kroky potřebné ke zvládnutí této situace.

5.5.2 Představené krizové scénáře a digitální pokyny

Brýle RealWear Navigator™ 500 se dají využít i jako nástroj pro zobrazení konkrétních krizových scénářů a vedení pracovníka dle předepsaných postupů a dokumentace. V praxi by to znamenalo, že při identifikaci krizové události se pracovníkovi automaticky zobrazí digitální návod, jak se v dané situaci chovat a postupovat včetně instrukcí, jak použít ochranné pracovní pomůcky, zajistit postižené místo či zařízení nebo které osoby kontaktovat. Výhodou je, že pracovník není odkázán pouze na svoji paměť. Hlasové ovládání je v těchto situacích výhodou, protože pracovník může jednotlivými kroky přecházet bez nutnosti použití rukou, což je v krizových situacích často klíčové.

5.5.3 Přístup k aktuálním datům a technické dokumentaci v reálném čase

Další výhodou RealWear Navigator™ 500 zařízení v krizových situacích je schopnost dávat okamžitý přístup k digitální dokumentaci. Na jaderné elektrárně je v určitých případech potřeba rychle ověřit pracovní postupy, schémata zapojení, výkresy a plány evakuace. Namísto hledání v papírových manuálech nebo v počítači, může pracovník přímo na místě otevřít požadovaný dokument hlasovým příkazem a mít ho neustále v zorném poli. Tato funkce nejen zkracuje dobu rozhodovacího procesu, ale zároveň minimalizuje riziko chyb způsobených například neúplnými nebo milně pochopenými informacemi. Příkladem může být, kdy pracovník II.O identifikuje netěsnost na potrubí a pomocí brýlí si otevře technologické schéma díky tomu zjistí jaké armatury nebo zařízení se nachází v jeho okolí. Následně po konzultaci s operátorem provede bezpečné odstavení systému nebo zařízení. Tento typ přístupu by byl využitelný i pro externí pracovníky či nové zaměstnance, kteří se v prostředí elektrárny ještě plně neorientují.

5.5.4 Zaznamenání průběhu krizové situace

Technologie těchto brýlí dovoluje nejen přímý přenos, ale také tvorbu záznamu obrazu a zvuku z místa události. Tato funkce má velký přínos pro následné vyhodnocení postupu pracovníků, analýzu příčin krizové situace a zajištění důkazních materiálů pro další šetření. Tento záznam může být následně použit pro kontrolu krizových postupů nebo při školení dalších pracovníků, kdy se vychází z reálné situace. Záznam v reálném čase mohou sledovat i pracovníci havarijního štábu v zasedací místnosti a získat tak podrobnější představu o vývoji celé situace. To otevírá možnosti lepší koordinace činností při řešení situace. Dovoluje to také zapojení odborníků, kteří se právě nenachází v areálu elektrárny například odborníků z jiných elektráren.

5.5.5 RealWear Navigator™ 500 jako součást krizových cvičení

Na jaderných elektrárnách probíhají pravidelná havarijní cvičení jako součást přípravy personálu na tyto situace. Simulace úniku radioaktivních látek nebo selhání důležitých systémů slouží k ověření připravenosti personálu a k ověření správnosti postupů. Začlenění chytrých brýlí do těchto cvičení umožní přímý dohled jak nad činnostmi pracovníků v terénu, tak z velína blokové dozorny. Vytvoření audiovizuálních záznamů slouží pro detailnější rozbor po ukončení cvičení. V budoucnu až na JE bude dokončena digitalizace je možné integrovat brýle RealWear Navigator™ 500 s trenažery, například prostřednictvím propojení s VR a AR prvky, což umožní vytvořit kombinovaný model školení, který bude vytvářet virtuální simulace s reálným pohybem pracovníků v provozních prostorách.

5.5.6 Snížení lidské chyby v krizových situacích

Jedním z největších rizik při řešení krizových situací je lidská chyba způsobená stresem, zmatkem nebo nedostatkem informací. RealWear Navigator™ 500 pomáhá minimalizovat tento faktor tím, že poskytuje uživateli jednoznačné a vizuálně přehledné úkoly, které může v podstatě ihned sledovat a plnit bod po bodu. Hlasové ovládání umožňuje zachovat pracovníkovi volné ruce, a to je velkým přínosem pro bezpečné provádění úkonů. Rovněž pomáhá ověřit správnost prováděných úkolů, a to díky hlasovému potvrzení každé dokončeného kroku postupu. Další výhodou je konzultace s nadřízeným v reálném čase. Díky těmto vlastnostem toto zařízení ke snížení rizika nesprávného zásahu nebo k přehlednutí klíčových skutečností.

5.5.7 Integrace RealWear Navigator™ 500 do systému krizového řízení

Některé jaderné elektrárny využívají softwarové systémy krizového řízení. Tyto systémy slouží k řízení mimořádných a krizových situací, záznamu událostí, aktivaci havarijních plánů a v neposlední řadě ke koordinaci zásahu. Zařízení RealWear Navigator™ 500 může být do těchto systémů plně integrováno. To by mělo za následek, že při detekci krizové situací nebo mimořádné události systém automaticky rozešle upozornění a přenechá krizový scénář přímo do zařízení pracovníků. Velín blokové dozorny nebo havarijní štáb může sledovat všechny pracovníky zapojené do řešení události v reálném čase a popřípadě upozornit na nedostatky a nebezpečí. Tato integrace posouvá řízení krizových situací na vyšší úroveň digitalizace a dovoluje přesné řízení celé mimořádné události.

5.6 Bezpečnost na jaderných elektrárnách

Bezpečnost je klíčová při provozu jaderné elektrárny a jsou na ni kladeny ty nejvyšší nároky. To vyžaduje přesnost, spolehlivost a rychlou reakci na mimořádné události, ale také kvalitní školení personálu a přísné dodržování provozních předpisů nebo dokumentace, ale i moderní technologické prostředky. Jedním z nástrojů, které mohou přispět ke zvýšení bezpečnosti provozu je zařízení RealWear Navigator™ 500. Díky svým technickým možnostem umožňuje propojení člověka s digitálním prostředím v reálném čase. V této kapitole se zaměříme na některé oblasti, ve kterých tato technologie přispívá k bezpečnějšímu provozu.

5.6.1 Minimalizace provozních chyb

Jeden z hlavních bezpečnostních přínosů RealWear Navigator™ 500 je podpora pracovníků při provádění běžných i specifických úkonů prostřednictvím digitálních checklistů. Pracovník má neustále v průběhu prováděné činnosti k dispozici vizuálního průvodce, který mu ukazuje krok po kroku celý proces. Tato metoda snižuje riziko chyb v důsledku nesprávného pochopení instrukcí nebo špatným odhadem situace. Veškeré činnosti jsou navíc zálohovány, a to umožňuje následnou kontrolu a správnost provedení činností.

5.6.2 Podpora otevřené komunikace a sdílení informací

Při bezpečnosti kultury je možnost otevřeně sdílet informace, upozorňovat na možná rizika a zajistit okamžitou zpětnou vazbu. V běžném provozu však může být podávání podnětů zdržující nebo organizačně náročné. Díky zařízení RealWear Navigator™ 500 mohou pracovníci okamžitě zdokumentovat závadu nebo nestandardní chování zařízení pomocí videa nebo fotky. Pomocí handsfree předat upozornění příslušné osobě zodpovědné za zařízení a v neposlední řadě využít konzultace s odborníkem, aniž by opustili pracovní prostor. Takové nástroje napomáhají k bezpečnosti organizace a ke zlepšení podmínek na pracovišti.

5.6.3 Předávání zkušeností a know-how mezi generacemi

Zařízení typu RealWear Navigator™ 500 může sehrát roli i při mezigeneračním předávání zkušeností, které je v jaderných elektrárnách zásadní. Odborné znalosti pracovníků s desítkami let zkušeností lze zaznamenat formou praktických ukázek, návodů a komentovaných postupů přímo v provozu. Mladší kolega bude prostřednictvím brýlí propojen se zkušeným kolegou, který bude sledovat jeho činnost a zároveň ho bude mentorovat. Díky možnosti nahrávání a zálohování lze zaznamenat odborný zásah zkušeného pracovníka a požit ho pro další zaškolení nových zaměstnanců. Tento způsob předchází vzniku lidské chyby v důsledku neznalosti nebo nezkušenosti.

5.6.4 Standardizace postupů a omezení improvizace

Improvizace v provozu jaderné elektrárny představuje zásadní riziko. Na první pohled se může improvizace jevit jako projev flexibility a zkušeností, ale ve skutečnosti často vede k odchýlkám od stanovených provozních předpisů či dokumentace a následky mohou být velmi vážné. Zařízení RealWear Navigator™ 500 nabízí určitý nástroj pro zajištění jednotnosti vykonávaných činností. Chytré brýle dokáží zobrazit pracovníkovi v reálném čase schválené pracovní postupy a dokumentace, aniž by musel listovat v papírové verzi dokumentu nebo se spoléhat na svoji paměť. Tyto informace dostává pracovník vizuálně přehledně a v aktuálně schválené verzi. Navíc mohou být pracovníci sledováni přes kameru a upozorněni na možné odchýlky a nesrovnalosti.

5.6.5 Podpora bezpečnosti pracovníků

Bezpečnost v jaderné elektrárně není pouze o ochraně zařízení či technologickými závadami. Další klíčovým prvkem je ochrana zaměstnanců, minimalizace jejich fyzického zatížení a snížení úrazovosti při vykonávání běžných činností. RealWear Navigator™ 500 přispívá k fyzické bezpečnosti pracovníků hned v několika rovinách. Díky hlasovému ovládní není třeba držet

v ruce žádné zařízení například tablet nebo manipulovat s dokumentací. To zásadně zvyšuje stabilitu při práci a snižuje riziko uklouznutí nebo pádu, a to zejména v technologických prostorách s omezeným pohybem nebo při práci ve výškách. Další výhodou je možnost okamžitého přivolání pomoci v krizové situaci, kdy by zaměstnanec musel složitě sahat po telefonu, lze pomoc přivolat pomocí hlasovým povelům, přičemž zůstává stále v kontaktu i vizuálně pomocí kamery. Díky propojení systému je možné ihned volat složky IZS a ty mohou okamžitě posoudit další kroky. Výhodou je i automatizované zobrazení bezpečnostních upozornění přímo v zorném poli pracovníka díky přehlednému menu. V závislosti na připojení k interním systémům lze brýle nakonfigurovat tak, aby v blízkosti konkrétního zařízení upozornily na potřebu použití specifických ochranných pomůcek, nutnost ověření, zda má pracovník dostatečné povolení k výkonu práce na daném zařízení. Tím dochází k přirozenému propojení bezpečnosti kultury do každodenně prováděných činností. Zajímavým a do budoucna inovativním směrem je využití RealWear Navigator™ 500 v oblasti monitoringu únavy pracovníků. V kombinaci s externími senzory (např. tělesné teploty, srdečního tepu nebo pohybové aktivity) lze vyhodnotit náznaky únavy nebo přetížení, které mohou zvyšovat riziko nehody či vážné zranění pracovníka. Na základě těchto údajů může systém doporučit přestávku, upozornit nadřazeného o stavu pracovníka a v neposlední řadě optimalizovat rozvrh směn. Chytré brýle RealWear Navigator™ 500 rozšiřují tradiční pojetí bezpečnosti na jaderné elektrárně o nový rozměr. Nejde jen o technologický nástroj, ale o prostředek systematické podpory pracovníků, při jejich rozhodování a pohody při práci. Díky své flexibilitě umožňují efektivní provedení principů bezpečnosti kultury přímo v terénu a podporují aktivní předcházení, rizikům spojený s lidským faktorem.

5.6.6 RealWear Navigator™ 500 jako nástroj prevence lidské chyby

Lidská chyba zůstává i přes vysoký stupeň technické vybavenosti jedním z nejčastějších případů provozních událostí. Právě proto je v oblasti jaderné bezpečnosti kladen velký důraz na předcházení těmto chybám pomocí různých technik a metod. V praxi se využívá systém dvojité kontroly, dodržování pracovních postupů až po opakovaná školení. RealWear Navigator™ 500 přináší do tohoto systému nový prvek, a to technologickou podporu, která pomáhá předcházet chybám nikoliv částečně, ale v reálném čase a v místě výkonu činnosti. Jedním z klíčových přínosů je schopnost brýlí stabilizovat průběh činnosti i ve stresových nebo neobvyklých situacích. Pracovník, který se ocitne v nečekané provozní změně ať už je to detekce nestandardního provozního hluku, netěsnosti nebo náhlá změna parametrů má díky systematickému vedení možnost udržet se ve standardním postupu bez improvizace. Tento přístup eliminuje riziko ukvapeného rozhodnutí, které může často vést k nevratným důsledkům, zvláště pokud se jedná o manipulaci s armaturami nebo elektrickými rozvaděči. Dalším významným aspektem je podpora v rozhodování v mezních situacích, kdy je tlak na pracovníka vyšší, než zpravidla bývá. Tato situace nastává, pokud se pracovníkovi sejde více požadavků najednou nebo kdy má na činnost málo času. Technologie v tomto případě slouží jako stabilizační prvek, který pracovníkovi umožňuje zachovat klid, zkoordinovat si úkoly bod po bodu a poté je bezpečně provést. Odstraňuje se tak prostor pro improvizaci či přeskokování důležitých bodů, což bývá častým zdrojem nejen provozních chyb. RealWear Navigator™ 500 rovněž přispívá k omezení ztráty pozornosti v důsledku nadměrného množství podmětů, opakujících se činností

nebo fyzické únavy. Díky přehledné struktuře jednotlivých úkolů a možnostem zobrazení kontrolních bodů se snižuje riziko záměny zařízení, opomenutí nebo předčasné ukončení úkolu.

Uvedení příkladu využití

Dochlazovací okruh jaderné elektrárny slouží k vychlazení primárního okruhu. Tento systém obsahuje několik důležitých armatur a regulačních ventilů. Před otevřením některých hlavních armatur je potřeba je důkladně prohřát přes ochoz, aby nedošlo k jejich zadření. V době, kdy blok přecházel z jednoho režimu do druhého, ale došlo právě k této situaci a byl tím ohrožen přestup do daného režimu. Pokud by byl tento proces doplněn o technologii typu brýlí RealWear Navigator™ 500, které umožňují automatické upozornění, že je tento úkon potřeba provést k této situaci by nedošlo. Díky těmto brýlím by byla v danou situaci výrazně zlepšena bezpečnost a spolehlivost provozu.

6 Školení a vzdělávání zaměstnanců

Školení a vzdělávání pracovníků v jaderné energetice je jednou z klíčových činností nejen pro zachování vysokého standardu bezpečnosti, ale i pro zajištění efektivního a spolehlivého provozu. Na jaderných elektrárnách je požadována vysoká odbornost a kvalifikace personálu. Vyžadují moderní, flexibilní a bezpečný způsob školení a vzdělávání. Běžně používané metody, jako jsou teoretické semináře, klasická školení a ukázka manipulace na výcvikových střediscích jsou sice efektivní, ale mohou být časově náročné. S nástupem moderních technologií se otevírají nové možnosti, jak tento proces zjednodušit, zpřesnit a zkrátit délku školení. Chytré brýle RealWear Navigator™ 500 a virtuální realita (VR) představují moderní způsob, jak přistupovat ke školení a vzdělávání v jaderné energetice. Tyto technologie umožňují nejen efektivní přenos teoretických a praktických znalostí, ale i simulaci reálných situací, které by v ostrém provozu představovaly vysoké riziko. V této kapitole se zaměříme na konkrétní výhody a případy využití těchto technologií při školení a vzdělávání personálu v jaderných elektrárnách.

6.1 Virtuální realita a simulace školení

Využití virtuální reality (VR) v kombinaci s chytrými brýlemi poskytuje další rozměr pro školení pracovníků v jaderné energetice. VR je ideální pro simulace složitých situací, které by bylo obtížné nebo nebezpečné provádět v reálném světě. Tato technologie dovoluje vytvoření realistických simulací, které pracovníci mohou procházet a vykonávat v nich určité úkoly. VR simulace mohou zahrnovat velkou škálu situací, jako jsou poruchy na klíčových zařízeních jaderné elektrárny, řešení krizových situací nebo manipulace s technologií. Díky VR pracovníci dokáží trénovat reakce na různé scénáře, aniž by vystavovali provoz nebo sebe jakémukoliv riziku. Tento typ školení je navíc ideální pro opakování, posílení znalostí a dovedností bez nutnosti reálných zásahů. Kombinace VR a brýlí RealWear Navigator™ 500 znamená, že pracovníci mají na dosah ruky všechny podstatné informace a mohou se plně soustředit na simulaci, přičemž jsou stále bezpečně připojeni k vzdělávacím materiálům a pokynům. Toto školení v prostředí virtuální reality nejen zvyšuje efektivitu, ale také podporuje bezpečnost, protože pracovníci jsou seznámeni s nebezpečnými situacemi, aniž by k nim došlo ve skutečnosti.

6.2 Praktické školení na konkrétních zařízeních

Jednou z důležitých částí, které chytré brýle přinášejí do procesu školení personálu, je možnost simulace konkrétních provozních podmínek přímo na zařízeních jaderné elektrárny. Tento způsob školení je mnohem účinnější, než běžné teoretické vyučování, protože pracovníci mohou vykonávat úkoly, které jsou součástí jejich každodenní pracovní náplně. Například školení a vzdělávání pracovníků pro provádění údržby nebo opravy na důležitých zařízeních jaderné elektrárny jako jsou parogenerátory, turbogenerátory, ale i další důležitá technologie může být uskutečněno v prostředí, které simuluje skutečné pracovní podmínky. Brýle RealWear Navigator™ 500 umožňují pracovníkům snadný přístup k digitálním pracovním postupům, návodům, dokumentaci a bezpečnostním prvkům. To zajišťuje, že i noví pracovníci, kteří nejsou dostatečně seznámeni se všemi důležitými částmi dané technologie, mohou bezpečně a správně vykonávat zadané úkoly. Vzdělávací obsah může být přizpůsoben konkrétním zařízením

a pracovním postupům, které pracovník právě vykonává, a tím se výrazně zvyšuje jeho schopnost učení. Brýle tedy poskytují pracovníkům přehled o správných postupech a zároveň jsou schopné zaznamenávat kroky, které pracovníci provedli, a to díky kameře a zálohování, což je ideální pro následnou analýzu jejich výkonu při provádění činnosti. Tento postup usnadňuje školitelům identifikovat případné chyby ve vykonaných úkonech a včas je opravit. Tím se předchází tomu, že si pracovník vybuduje špatné návyky.

6.3 Sledování a hodnocení pokroku školených pracovníků

Využití chytrých brýlí pro sledování výkonu školených pracovníků v reálném čase přináší další významné výhody v této oblasti. Brýle umožňují sledování a analýzu výkonu pracovníků, což je důležitý nástroj pro zajištění efektivity a bezpečnosti školení. V průběhu školení mohou být monitorovány konkrétní kroky, které pracovník vykonává a zda jsou tyto kroky v souladu s pracovním postupem. Tento proces se může týkat jak jednoduchých úkolů, tak i těch složitějších, kde je kladen důraz na přesnost a hlavně bezpečnost. Systémy, které brýle RealWear Navigator™ 500 používají, mohou zaznamenávat, jak dlouho trvá pracovníkovi provedení daného úkolu, zda během práce došlo k chybám nebo nedodržení stanovených pracovních postupů, a poskytnou detailní analýzu chyb. Na základě těchto informací mohou školitelé přizpůsobit výuku přímo pro potřeby daného pracovníka a tím zajistit, že bude správně připraven pro ostrý provoz. Další výhodou tohoto sledování je, že školitelé jsou schopni během školení monitorovat celé skupinky pracovníků. Tímto způsobem tak sledují nejen pokrok jednotlivce, ale i pokrok celého týmu. To je velmi užitečné v případě, kdy je školení realizováno ve skupinkách, a školitel má možnost okamžitě identifikovat, kdo potřebuje další podporu.

6.4 Využití brýlí RealWear Navigator™ 500 při vzdělávání zaměstnanců

Vzdělávání zaměstnanců v jaderné energetice je základem odborného růstu a profesního rozvoje. Na rozdíl od školení, které probíhají obvykle v provozu a souvisí s praktickými dovednostmi, se vzdělání odehrává převážně ve výukových prostorech, trenažerech nebo učebnách. Zaměřuje se na teoretické znalosti, porozumění technologickým celkům, předpisům, bezpečnostním zásadám i pochopení provozních procesů. Nasazení technologií jako je RealWear Navigator™ 500 v tomto typu prostředí přináší nové možnosti nejen v oblasti prezentace výukového materiálu, ale i v efektivitě zapojení zaměstnanců do výuky a zapamatování učiva.

6.5 Integrace do výuky technologií

Chytré brýle umožňují vizuální propojení teorie s praxí při samotné výuce. Při probírání tématu primárního okruhu nebo turbogenerátorů je možné studentům prostřednictvím předem nahraného záznamu nebo streamovaného obrazu zobrazit konkrétní komponenty přímo z technologie. Lektor může výuku doplnit komentářem, zatímco student sleduje brýlemi reálné záběry zařízení. Tento způsob vizualizace významně zvyšuje schopnost studentů porozumět složitým systémům a udělat si představu o tom jak technologie či zařízení vypadá.

Například při výuce o systému napájecí vody na sekundárním okruhu by mohli mít studenti ve výukové místnosti propojení přes RealWear Navigator™ 500 s pracovníkem provozu, který

názorně ukazuje jednotlivé části systému, například potrubní trasy, armatury a další ovládací prvky. Během výuky by mohli studenti klást otázky a obratem získávat odpovědi a ukázky.

6.6 Samostatné procvičování a testování

Další velkou výhodou brýlí RealWear Navigator™ 500 je vzdělávání během samostudia. Zaměstnanci mohou mít ve výukových centrech přístup k chytrým brýlím, které jim umožní procházet multimediální výukové materiály, 3D modely nebo digitální mapy zařízení a technologie. Při testování si tak dokáží ověřit svoje znalosti v interaktivním režimu. Tímto způsobem dokáží přiřazovat popisky k technologickým prvkům na obraze, nebo pomocí ústního zodpovídání otázek. Tento způsob výuky je vhodný pro různé typy studentů, jak pro ty, co upřednostňují vizuální styl učení, tak pro ty, kteří se nejlépe učí zapojením více smyslů. Samostatná práce zároveň posiluje zodpovědnost za vlastní vzdělávací proces.

6.7 Přístup k digitalizované dokumentaci a výuce z různých míst

Pomocí brýlí RealWear Navigator™ 500 je také možnost studovat digitální dokumentaci, technologická schémata nebo bezpečnostní předpisy bez nutnosti sedět u klasického počítače. Zaměstnanec si může daný materiál otevřít pomocí hlasového příkazu, listovat v něm, přibližovat detaily nebo přeskokovat mezi jednotlivými částmi dokumentace. Tím odpadá složité hledání v tištěných verzích. V některých případech by bylo brýle možné využít i mimo učebnu. Například při simulovaném vstupu do provozu, kdy zaměstnanec studoval dané zařízení přímo v provozním prostoru, ale bez toho, aby musel vykonávat jakoukoli činnost. Brýle sloužily pouze k pasivnímu sledování a rozšíření teoretické výuky.

6.8 Využití ve vzdělávacích programech

Vzdělávání v jaderné energetice často zahrnuje také různá osvědčení k výkonu práce a přezkoušení dle legislativních požadavků jaderné elektrárny. Brýle RealWear Navigator™ 500 mohou být využity jako podpora při přípravě na zkoušky, nebo dokonce jako součást praktické zkoušky, kdy zaměstnanec řeší modelovou situaci a postupuje dle pokynů zobrazených v brýlích. Tím se dá výrazně zvýšit opravdovost zkoušky a zároveň i úroveň připravenosti zaměstnance na reálné situace.

7 Návrhy vylepšení brýlí RealWear Navigator™ 500

7.1 Pro použití v jaderné energetice

Jak jsem již výše zmínil, brýle RealWear Navigator™ 500 jsou navrženy pro použití v průmyslu. A i přesto, že jsou na dnešní dobu již vysoce funkčním nástrojem pro podporu provozu v náročném průmyslovém prostředí jaderné elektrárny, praktické využití v terénu odhalilo i nějaké oblasti, kde by dle mého názoru mohlo dojít ještě ke zlepšení. Jedná se o oblasti, které by dle mého názoru ještě více zvýšily bezpečnost a efektivitu v jaderném sektoru.

7.1.1 Odolnost brýlí vůči radiaci

Chytré brýle RealWear Navigator™ 500 dosud nebyli certifikovány pro prostředí kde se vyskytuje ionizující záření. Vzhledem k tomu, že na jaderné elektrárně je možné vyskytnutí radioaktivní záření bylo by dobré vyvinout verzi těchto brýlí s vyšší odolností vůči větší dávce záření. Postrádám také upozornění na například vyšší dávku nebo výskyt jaderného záření. takže by nebylo špatné brýle například osadit dozimetrickým modulem, který by operátora upozornil na překročení stanovených limitů.

7.1.2 Lepší integrace s provozní dokumentací JE

V této oblasti bych viděl zlepšení propojení brýlí s formáty používanými na jaderné elektrárně například s PDF, SAP, Copilot nebo interními systémy jaderné elektrárny. Dále pak by mohlo být na brýlích přímé hlasové vyhledávání v databázi provozních předpisů, pokynů nebo instrukcí bez nutnosti prohlížet fyzicky složku.

7.1.3 Zlepšení audio systému

Jak jsem již zmínil na jaderné elektrárně se mnohdy pracuje v hlučném prostředí například v blízkosti turbíny nebo ventilátorů se jedná o vysokou hlučnost. V této oblasti bych viděl možnost připojení ochranných sluchátek s propojeným mikrofonom certifikovaným pro provoz v jaderné energetice. Nebo by také mohlo dojít k potlačení šumu spolu s adaptivní filtrací pro různé typy hluku v různých oblastech jaderné elektrárny.

7.1.4 Přesnější lokalizace uživatele

Chytré brýle RealWear Navigator™ 500 by mohli automaticky ukládat trasu pochůzky pracovníka a spojení se systémem GIS nebo upozornit na vstup do zakázaných nebo rizikových zón. Brýle by se mohli spojit také s vnitřním systémem jaderné elektrárny.

Dalším možným vylepšením by mohl být automatický zápis údajů do elektrického protokolu pochůzky jako například kontrolní seznamy s hlasovým potvrzením. Mohla by být také zlepšena kvalita nahrávání videa v horších světelných podmínkách.

Dalším námětem v této oblasti by také mohlo být například připojení externí kamery s optickým zoomem pro detailní záběry například z dálky.

7.1.5 Přizpůsobení a nositelnost

Po osobním vyzkoušení brýlí musím konstatovat, že se jedná o velice praktický a pohodlný model. Nicméně možné vylepšení bych viděl v uchycení pro nošení na různých typech přileb používaných na elektrárně. Snadnější dezinfekci a výměnu hygienické části myšleno potní pásky nebo polstrování. Dále by nebylo špatné využít lehčí konstrukci pro tyto brýle nebo alespoň rozložení váhy brýlí pro pohodlnější dlouhodobé nošení.

7.1.6 Vylepšení spolupráce na dálku

Chytré brýle RealWear Navigator™ 500 doposud umožňují spojení pouze jednoho člověka v jednom videohovoru. Při náročnějších situacích by nebylo špatné, pokud by se do jednoho videohovoru mohlo připojit více expertů. Dále pak při řešení nějaké situace se zahraničním expertem by nebyl špatný automatický překlad do potřebného jazyka během mluveného slova. Dobré by bylo, kdyby došlo také ke spojení nástroje pro kreslení, kdy by například mohl vzdálený odborník na dálku zakreslit do videa poznámku.

7.1.7 Kybernetická bezpečnost

I v této oblasti mají brýle nějaké rezervy. Vylepšení bych viděl v možnosti fungování v offline režimu a pak následnou synchronizaci přes zabezpečenou síť. Dalším nápadem na vylepšení by mohlo být nastavení různých profilů s omezeným přístupem podle oprávnění.

7.2 Pro zvýšení bezpečnosti v jaderné energetice

Jak jsem již zmínil brýle, které byly testované v jaderné elektrárně mají vysoký nárok na bezpečnostní standardů. Je ale potřeba neustále zvyšovat úroveň ochrany zaměstnanců a zařízení.

7.2.1 Zjištění a varování při vstupu do zakázaných či nebezpečných zón

Pracovník by například při přiblížení k citlivé oblasti, kam by neměl přístup, byl na tuto skutečnost aktivně upozorněn. Pracovník by mohl být varován, že překročil bezpečnostní hranice například zvukovou nebo obrazovou signalizací

7.2.2 Monitoring pracovních podmínek

Brýle by mohly být doplněny například o moduly pro měření vlhkosti, teploty, výše radiace, koncentrace plynů či kyslíku. To by mohlo varovat zaměstnance před zhoršenými podmínkami.

Brýle by mohly mít vazbu na centrální systém monitoringu prostředí kdy by včasné zobrazení o stavu prostředí, které operátor nemůže přímo vyhodnotit, a právě brýle by zareagovaly na tuto situaci.

7.2.3 Podpora rozhodování a prevence lidské chyby

Brýle by mohly hlasově navigovat a automaticky ověřovat správnost postupu pracovníka. Videozáznam z brýlí by mohl sloužit pro analýzu situací, kdy došlo například k porušení bezpečnostních pravidel tedy aby brýle zajistily zpětnou dohledatelnost.

7.2.4 Okamžité přivolání pomoci

Na chytrých brýlích by mohlo být nouzové tlačítko které by vyslalo SOS signál dispečerovi v případě úrazu, nehody nebo jakékoliv jiné mimořádné události. Dále pak by mohl pomoci i automatický okamžitý přenos polohy a vizuální situace, která by mohla pomoci při rychlém rozhodnutí zásahového týmu.

7.2.5 Zlepšení komunikace v havarijním režimu

Zde také navazujeme na offline režim s nouzovou synchronizací například při výpadku internetového spojení s automatickým obnovením a přenosem záznamu po návratu do sítě. Nebo by se mohla zajistit komunikační linka s vyšší prioritou v nouzových stavech.

7.2.6 Zvýšení osobní ochrany pracovníka

Brýle by měly být plně kompatibilní s ochrannou přilbou, sluchátky, štíty a dýchací technikou. Vhodné by mohly být i magnetické úchyty na přilbu pro rychlé nasazení i sundání brýlí bez omezení bezpečnostních prvků. Také je důležité zajištění, aby byla snadná údržba a desinfekce pro omezení přenosu biologických rizik mezi pracovníky, které brýle používají.

7.2.7 Zákaz neoprávněného použití zařízení

Myslím tím omezení přístupu k zařízení pouze pro oprávněný personál za pomoci otisků prstů, rozpoznání obličeje nebo za použití klasické čipové karty. Další možností by pak bylo po přihlášení do systému přes osobní identifikátor.

Závěr

Pro svou diplomovou práci jsem si vybral téma využití virtuálních brýlí v jaderné energetice.

V teoretické části jsem se zabýval teoretickými poznatky okrajově okolo jaderné elektrárny zejména pak krátkému představení o co se v jaderné energetice jedná, krátce jsem zmínil historii jaderné energetiky, která sahá až do poloviny 20. století. Podkapitolami historie jsem popsal také jak funguje jaderná elektrárna včetně jejich nejdůležitějších součástí jako je reaktor, turbíny, generátor, chladící a bezpečnostní systémy. Jaderná energetika přes svůj vysoký potenciál čelí mnoha zásadním výzvám jako jsou bezpečnost, nakládání s odpady, náklady, obavy veřejnosti nebo geopolitické faktory které jsem ve své práci rovněž zmínil. Mezi výhody jaderné energetiky patří nízké emise, stabilní a spolehlivý zdroj energie a vysoká energetická hustota.

Další důležitou kapitolou popsanou v diplomové práci je význam bezpečnosti a přesnosti při práci v jaderných zařízeních. Jedná se o ochranu jak životního prostředí, tak také ochranu pracovníků také ale provozní bezpečnost a technologickou přesnost. Virtuální brýle v tomto případě mohou pomoci jak při bezpečnosti práce, tak při efektivnosti školení, precizní údržbě a diagnostice nebo optimalizaci procesů. S tímto tématem úzce souvisí ochrana zdraví pracovníků i veřejnosti je myšleno především při kontaktu s radioaktivními materiály. Mezi další hlavní rizika patří ionizující záření a zabezpečení proti únikům. Navázal jsem prevencí jaderných havárií jako byla Fukušima nebo Černobyl. Především je možné přesností při řízení procesů či dvojitou kontrolou a refundací. Technická přesnost v provozu a údržba je také důležitá především údržba a opravy zařízení jaderné elektrárny a také monitorování kritických parametrů. Dále pak ochrana životního prostředí jako je likvidace jaderného odpadu nebo prevence kontaminace. S tím souvisí také zajištění důvěry veřejnosti. Je třeba dodržovat legislativní a regulační rámec.

V další kapitole jsem představil technologie chytrých brýlí rozšířené a virtuální reality kdy rozšířená realita umožňuje propojení s reálným světem přidáním virtuálních objektů kdežto virtuální realita vytváří zcela digitální prostředí, která uživatele ponoří přímo do virtuálního světa. Uvedl jsem i výhody jednotlivých realit a příklady použití.

Druhou kapitolou je představení chytrých brýlí jako vysoce technologického zařízení, které je kombinací tradičních brýlí s digitálními technologiemi, jenž často obsahují integrované displeje, mikrofony, senzory a další komponenty sloužící k propojení s okolním světem. V této kapitole jsem také popsal historii virtuálních brýlí a jejich vývoj kdy počátky virtuální reality sahají až do 19. století, kde se objevily první panoramatické obrazy. První komerční pokusy proběhly v 80. – 90. letech 20. století. Ty byly pro armádu a letecké společnosti. Následně pak pro společnost NASA, která VR používala k tréninku astronautů. 21. století byl průlom VR technologií vzniká první headset určený pro domácí uživatele. Moderní VR technologie je již bez potřeby připojení k počítači. Dnes VR není zaměřena již pouze na herní průmysl, ale používá se již v medicíně, vzdělání, průmyslu, virtuální prohlídky podniků a továren. Budoucnost VR technologie je především v cenové dostupnosti pro obyčejné uživatele. VR také směřuje k využití umělé inteligence nebo cloudové VR.

V podkapitolách jsem popsal aktuálně dostupná VR zařízení a jejich popis. Mezi popsanými zařízeními jsem uvedl Metu Quest 3S, Apple Vision PRO, Playstation VR2, HTC Vive XR Elite

a RealWear Navigator™ 500. Poslednímu zmíněnému zařízení jsem se více věnoval v praktické části, jelikož se jedná o chytré brýle zkoušená právě v prostředí jaderné energetiky.

V této podkapitole jsem také uvedl možné softwary používané pro 3D brýle a virtuální realitu jako je Unreal Engine, Unity, VUFORIA, Autodesk VRED a REVIT, CRY Engine.

Dále jsem uvedl rozdělení brýlí podle účelu na digitální pracovní postupy, vzdálenou spolupráci, vision picking v logistice nebo 3D vizualizace dat v prostoru. Další kritérium, podle kterého se brýle dělí je typ reality na virtuální, rozšířenou nebo smíšenou.

Čtvrtou kapitolu jsem věnoval možnosti využití brýlí v jaderné energetice. Využití brýlí je zaměřeno zejména v oblasti kontroly, online komunikace, pochůzek nebo provozu. Velký vliv má také na zaškolení nových pracovníků. Pomocí brýlí je možné přenášet video, promítání fotografií nebo zakreslovat přímo do promítaného obrazu. Digitalizace jaderné elektrárny zapadá do kontextu zelené energie tedy má pozitivní vliv také na životní prostředí. Pozitivní je také v ohledu bezpečnosti práce, kdy dochází k rychlejším pracovním postupům a bezpečnosti práce tím, že odborný pracovník může pracovníkovi s brýlemi poradit na dálku a okamžitě situaci vyřešit. Velké úspory jsou tak nejen časové ale i finančního charakteru. Další výhodou je také školení a vzdělávání pracovníků nejen klasickým školením ale také interaktivním školením a simulace reálných situací jako například únik radiace nebo havárie reaktoru. Dále pak vzdálené školení za pomoci videohovorů nebo doprovodných vizuálních materiálů nebo zobrazení pokynů kdy krok po kroku vidí na brýlích postup práce.

Další podkapitolou je údržba a opravy zařízení tedy pravidelná kontrola a diagnostika poruch a opravy vyžadující velkou přesnost. Mohou k tomu pomoci pokročilé vizualizace pro údržbu kdy je možné vidět například 3D model zařízení které je potřeba vyměnit nebo virtuální návod na opravu, při technickém problému nebo vzdálenou podporu expertů za pomoci videohovoru na dálku v případě složitějších oprav.

Poslední podkapitolou byly bezpečnostní a krizové situace. Bezpečnost je pro jadernou energetiku nejdůležitější. Brýle mohou pomoci vizuální podpora při evakuaci, podpora krizového managementu nebo Real-time analýza dat.

V praktické části jsem popsal brýle, které byly již úspěšně testované na jaderné elektrárně Temelín, tedy Brýle RealWear Navigator™ 500. Tyto brýle byly navrženy přímo pro průmysl, a to přímo na helmu pracovníka. Má vyměnitelnou baterii i za provozu, ohromující modulární snímač fotoaparátu i při slabém osvětlení. Na těchto brýlích byly provedeny i pádové zkoušky, prachotěsné a vodotěsné zkoušky i teplotní kdy odolnost je vyhovující pro jadernou energetiku. Umí potlačit hluk, disponuje 4mikrofony pro hands-free použití a jasný displej. Jsou velice lehké váží pouze 270 g. V tabulce jsem uvedl veškeré dostupné parametry a informace o těchto brýlích. Součástí kapitole jsou i obrázky jak samotných brýlí, tak také detailu displeje s aplikacemi, které slouží k propojení s odborníky.

Za pomocí virtuálních brýlí v jaderné energetice je možné zefektivnit pracovní postupy a eliminovat tištěné materiály. Brýle zobrazují informace přímo před očima a vedou tak pracovníka krok po kroku i složitými pracovními procesy či kontrolou. Urychluje se tím i zácvičení nových zaměstnanců. Brýle pomohou novému zaměstnanci naučit se věci přímo v provozu a pomocí odborného poradce na videohovoru jít prakticky hned do ostrého provozu. Tím je možné rychleji využívat odborné znalosti a dovednosti nového pracovníka ve velice krátké době.

Napomáhají standardizovat pracovní postupy jako je zajištění stále kvality prováděných každodenních prací nebo málo častých servisních a údržbových činnosti například slovním potvrzením pracovníka či vyfocení nastalé situace. Tyto kroky je možné kontrolovat a vyhodnocovat. Brýle jsou kompatibilní s mnoha externími zařízeními jako je digitální šuplera kamera, měřidla. Z nich je možné čerpat data a je možné je i kdykoliv dohledat v čase. Jedná se tak o 100% bezpapírové provádění pracovních postupů.

Další kapitolou byla vzdálená spolupráce. Popsal jsem zejména poskytnutí vzdálené podpory odborným pracovníkům v reálném čase, spolupráce v reálném čase v rámci videohovoru z pohledu pracovníka, který má brýle na helmě. Dále pak nahrávání relací, kdy je možné natáčet všechny prováděné činnosti a použít je kdykoliv v budoucnu jak pro školení zaměstnanců, prokázání kvality provedené práce nebo dalším činnostem.

U RealWear Navigator™ 500 umožňuje také 3D vizualizaci v prostoru tedy práci s 3D modely v reálném čase. V tomto případě umožňují chytré brýle umístit 3D objekt do reálného světa uchopit jej a pohybovat s ním. Je také možná digitální návštěva výroby nebo plánování rozvoj. Jako příklad jsem uvedl výměnu zařízení používaného v JE. V rámci této kapitoly jsem také zmínil využití brýlí na školícím středisku JE, které bude možné do budoucna možná a určitě žádána pro rychlejší pochopení technologie. Nový zaměstnanec, může sledovat předem nahraný záznam z ostrého provozu a vidí technologie a prostředí v reálné velikosti. Školení tak bude efektivnější.

V páté kapitole jsem se věnoval využití brýlí v ostrém provozu. Brýle mohou přispět ke zlepšení všech uvedených procesů. Brýle mohou přispět k lepšímu a efektivnějšímu provádění pracovní činnosti. Díky brýlím je možné dokumentovat nalezené nesrovnalosti za pomoci videa, fotografií, hlasové poznámky a ihned konzultovat s operátorem či jinou odpovědnou osobou. V této kapitole byly také uvedeny tři příklady z praxe, u kterých jsem byl přímo přítomen. Pomocí VR mohou vývojáři simulovat celé systémy elektrárny, aniž by zasahovali do ostrého provozu. Jakýkoliv zásah do zařízení elektrárny musí být naplánován, proveden, zdokumentován a schválen. Brýle RealWear Navigator™ 500 mohou sloužit jako významný údržbový nástroj. Je možné při údržbě zaznamenávat obrazový i zvukový záznam, a to bez nutnosti sundání ochranných pomůcek. Je možné i kvalitu údržby určit a vyhodnotit. Může také být zaznamenána pro budoucí pracovníky. Brýle také umožňují přímý přenos obrazu a zvuku ke vzdálenému pracovníkovi na danou problematiku, který mu může situaci ihned pomoci vyřešit.

Další podkapitolou je řešení krizových situací, kdy jde hlavně o rychlost reakce, a tedy o okamžité navázání spojení jak pomocí vizualizace, tak zvuku mezi pracovníkem v terénu a operátorem či krizovým štábem. Což brýle bezesporu mohou usnadnit. Výhodou také je, že pracovník není odkázán pouze na svoji paměť, ale pomáhá mu odborný pracovník. V brýlích by se při krizové situaci také mohl promítat digitální návod, jak krizovou situaci co nejdříve zažehnat. Možný by také mohl být okamžitý přístup k digitální dokumentaci, která by postup urychlila. Celý průběh krizové situace by mohl být zaznamenán pro školení nových pracovníků nebo při řešení podobné krizové situace v budoucnu. Záznamy se pak mohou použít i jako součást krizových cvičení, které na elektrárně probíhají každý rok dvakrát. Brýle mohou také snížit riziko lidské chyby a to tak, že hlasové ovládání umožňuje zachovat pracovníkovi volné ruce, což je velký přínos. Toto zásadně zvyšuje stabilitu při práci a snižuje riziko uklouznutí či pádu. Pomáhá také ověřit správnost prováděných úkolů díky hlasovému potvrzení každého kroku. Pokud by byly brýle integrovány do systému krizového řízení jaderné elektrárny, mohlo

by dojít k automatickému rozeslání krizového scénáře přímo do zařízení všech pracovníků a havarijního štábu.

Další důležitou podkapitolou byla bezpečnost na jaderných elektrárnách. Brýle mohou i v tomto ohledu být nápomocné díky svým technickým možnostem. Umožňují propojení pracovníka s digitálním prostředím v reálném čase. Mělo by to za následek minimalizaci provozních chyb, protože je pracovník neustále kontrolován a veden a veškeré činnosti zálohovány. Probíhá zde podpora otevřené komunikace a sdílení informací za pomoci videí a fotografií provedené chytrými brýlemi. Díky tomu je možné předávání zkušeností mezi generacemi. Tím se postupy i standardizují. Do budoucna by bylo možné monitorovat i únavu pracovníků za zjištění teploty, teploty či pohybové aktivity.

V další kapitole jsem popsal školení a vzdělávání zaměstnanců. VR je ideální pro simulace složitých situací, které by bylo nebezpečné a složité provádět v reálném čase. Brýle dokáží vytvořit realistické situace, které si pracovníci mohou prožít. Tento způsob školení je mnohem účinnější než běžné teoretické vyučování. Díky brýlím je možné sledovat i hodnotit pokroky školených pracovníků. Chytré brýle tedy umožňují propojení teorie s praxí. Samostatné procvičování a testování zároveň posiluje zodpovědnost za vlastní vzdělávací proces. Využití ve vzdělávacích programech má také za přínos, že si zaměstnanec může projít reálnou situací a zvýšit si tak úroveň připravenosti.

Nakonec jsem v poslední kapitole uvedl návrhy na vylepšení brýlí RealWear Navigator™ 500. Vzhledem k tomu, že jsem měl možnost si brýle osobně vyzkoušet tak jsem dal dohromady možné vylepšení brýlí. Nejprve jsem uvedl vylepšení pro použití v jaderné energetice. Mezi ty patří odolnost brýlí vůči radiaci, lepší integrace s provozní dokumentací JE, zlepšení audiosystému (připojení sluchátek), přesnější lokalizace zaměstnance, který má brýle na helmě (může upozornit na vstup do rizikových zón, přizpůsobení nošení (pro různé typy přileb), zlepšení spolupráce na dálku (komunikace více lidí v jednom čase), kybernetická bezpečnost (fungování i offline). Další možností zlepšení je pro zvýšení bezpečnosti, a to zjištění a varování při vstupu do zakázaných či nebezpečných zón, monitoring pracovních podmínek, podpora rozhodování prevence lidské chyby, okamžité přivolání pomoci, zlepšení komunikace v havarijním režimu, zvýšení osobní ochrany pracovníka a také zákaz neoprávněného použití zařízení.

Domnívám se, že svojí prací jsem přiblížil čtenářům využití virtuálních brýlí v jaderné energetice možné náměty a inovace na vylepšení a použití brýlí jsem předal svému zaměstnavateli, aby bylo možné případně tyto náměty převést do praxe či začít využívat v jaderné elektrárně Dukovany. Myslím, že by bylo určitě možné moji diplomovou práci využít ve školícím středisku jaderných elektráren Dukovany i Temelín nebo využít tuto práci při zaškolení nováčků či školení bezpečnosti současných pracovníků jaderných elektráren. Domnívám se tedy, že jsem tímto cíl diplomové práce splnil.

Seznam použité literatury

Literární Zdroje:

- [1] AUGUST, Pavel. Velká kniha o energii. L. A. Consulting Agency, 2001, 383 s ISBN 80-238-6578-1
- [2] Jaderné elektrárny, J. Bečvář a kol, SNTL/ALFA, 1978
- [3] Karel Škranc 2016 Učební texty pro personál JE

Internetové zdroje:

- [4] www.cez.cz: *Jaderná bezpečnost* [online]. Praha: Copyright, 2025 [cit. 2025-1-12]. Dostupné z: www.cez.cz/cs/o-cez/cez/bezpecnost/jaderna-bezpecnost
- [5] www.bozp.cz: *Bezpečná práce s radioaktivními materiály* [online]. Praha: Copyright, 2025 CRDR spol. s.r.o. [cit. 2025-04-12]. Dostupné z: www.bozp.cz/aktuality/bezpecna-prace-radioaktivni-materialy/
- [6] www.jaderne-elektrarny.cz: *Jaderná havárie* [online]. 2025 [cit. 2025-01-16]. Dostupné z: www.jaderne-elektrarny.cz/jaderna-havarie/
- [7] www.expressinfo.cz: *Rozšířená realita* [online]. 2025 [cit. 2025-01-22]. Dostupné z: www.expressinfo.cz/technika/programy-a-aplikace/rozsirena-realita-ar-vysvetleni-technologie-a-priklady/2590/
- [8] www.grunex.com: *Virtuální realita* [online]. 2009 – 2025 Grunex [cit. 2025-01 -29]. Dostupné z: grunex.com/article/co-je-virtualni-realita-pojdme-se-podivat-kde-vsude-se-da-vyuzit
- [9] www.vrcesko.cz: *Virtuální realita* [online]. 2018-2023, Turistika.cz s.r.o. [cit. 2025-02-12]. Dostupné z: www.vrcesko.cz/virtualni-realita
- [10] www.vreducation.cz: *Virtuální realita* [online]. 2025 VR Education [cit. 2025-02-12]. Dostupné z: www.vreducation.cz/virtualni-realita/
- [11] www.rmol.cz: *Jak bude vypadat budoucnost Virtuální reality* [online]. Copyright 2009 – 2025 Reseller Magazine OnLine [cit. 2025-02 -23]. Dostupné z: www.rmol.cz/novinky/jak-bude-vypadat-budoucnost-virtualni-reality
- [12] www.mironet.cz: *Meta Quest 3S* [online]. 2015 Mironet.cz [cit. 2025-02-25]. Dostupné z: www.mironet.cz/meta-quest-3s-128gb-bryle-na-virtualni-realitu-1832x1920px-na-oko-120hz-repro-20-android-ios+dp706220/
- [13] www.smartmania.cz: *Apple Vision Pro* [online]. 2005-2023 SMARTmania s.r.o. [cit. 2025-02-28]. Dostupné z: smartmania.cz/iphone-ktery-nasadite-na-hlavu-apple-odhalil-unikatni-bryle-vision-pro/
- [14] www.novinky.cz: *Playstation VR2* [online]. Copyright, 2025 [cit. 2025-03-12]. Dostupné z: www.novinky.cz/clanek/internet-a-pc-internet-a-pc-testy-obrovsky-generacni-skok-playstation-vr2-prinasi-vernejsi-zazitek-40423195

- [15] www.fzone.cz: *HTC VIVE XR Elite* [online]. 2025 24net s.r.o. [cit. 2025-03-12]. Dostupné z: fzone.cz/clanky/htc-vive-xr-elite-je-spickovy-4k-headset-pro-vr-i-mr-s-modularni-dna-5455
- [16] www.unrealengine.com: Unreal Engine [online]. 2025 Epic Games [cit. 2025-03-18]. Dostupné z: www.unrealengine.com/en-US
- [17] www.unity.com: *Unity* [online]. Copyright 2024 Unity Technologies [cit. 2025-03-25]. Dostupné z: unity.com/releases/editor/whats-new/2021.3.6
- [18] www.developer.vuforia.com: *Vuforia* [online]. Copyright 2025 PTC [cit. 2025-03-28]. Dostupné z: developer.vuforia.com/home
- [19] www.autodesk.com: *VRED a Revit* [online]. Copyright 2025 PTC [cit. 2025-04-01]. Dostupné z: www.autodesk.com/cz/products/vred/overview?msocid=07c37042baa06d992f086222bbe26c1c
- [20] www.cryengine.com: *Cry Engine* [online]. 2025 Crytek GmbH [cit. 2025-04-05]. Dostupné z: www.cryengine.com
- [21] www.zive.cz: *Brýle pro virtuální a rozšířenou realitu* [online]. Copyright 1996 - 2025 Czech News Center a.s. [cit. 2025-04-07]. Dostupné z: www.zive.cz/clanky/velky-prehled-bryli-pro-virtualni-a-rozsirenou-realitu/sc-3-a-177222/default.aspx
- [22] www.proelektrotechniky.cz: *Výroba a přenos*[online]. Copyright 2012 - 2025 Consulting services [cit. 2025-04-09]. Dostupné z: www.proelektrotechniky.cz/vyroba-a-prenos/313.php
- [23] www.firstvr.cz: *Školení zaměstnanců* [online]. 2025 [cit. 2025-04-12]. Dostupné z: www.firstvr.cz/skoleni-zamestnancu/
- [24] www.technicka-zarizeni.cz: *Chytré brýle ve službách jaderné energetiky* [online]. Copyright 2022 Medim, spol. s.r.o. [cit. 2025-04-12]. Dostupné z: www.technicka-zarizeni.cz/chytre-bryle-ve-sluzbach-jaderne-energetiky/
- [25] www.ayes.cz: *RealWear Navigator™500* [online]. Copyright 2022 Ayes [cit. 2025-04-12]. Dostupné z: www.ayes.cz/produkty/realwear-navigator-500/