



**26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOLĎAJOVÝCH
VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko**

<https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.1.11>

VIRTUÁLNÍ REALITA VE VÝUCE KOLEJOVÝCH VOZIDEL NA FAKULTĚ STROJNÍ, ČVUT

VIRTUAL REALITY AS A LEARNING TOOL ON FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING OF CTU

Tomáš FRIDRICHOVSKÝ, Josef ZÍKA^{*)}

1 ÚVOD

Virtuální realita je poměrně známý pojem, pod kterým si lze představit velkou škálu zobrazovacích technologií a možností sdílení informací. I přes desetiletí vývoje těchto technologií se k jejich využití průmyslové společnosti často dostávají až v současnosti, případně o jejich zavedení zatím neuvažují. Tomu přispívá jednak jiný přístup k užívání tohoto prostředí, ale také cena a pochyby o případném přínosu.

I přes určitou skepsi, nelze vyloučit, že si virtuální realita dříve, či později v některých svých formách najde cestu do průmyslové sféry a stane se běžnou formou podoby návrhů konstrukcí, montáží, servisu apod. Pro tyto případy je více než vhodné, aby byli na trhu práce kvalifikovaní odborníci znalí v oboru.

V tomto duchu bylo uvažováno při vzniku laboratoře virtuální reality na Fakultě strojní ČVUT v Praze. Na některé základní aspekty virtuální reality, využití, specifika použití, ale také zkušenosti z provozu a s tím spojená úskalí, je zaměřen tento příspěvek.

2 VIRTUÁLNÍ REALITA, VÝZNAM A HISTORIE

2.1 Definice virtuální reality

Virtuální realitu (dále VR) lze popsat jako prostorové 3D zobrazení doplněné možností interakce s danou scénou a vizuálně odděleného od skutečného světa.

2.2 Historie

Technologie spojené s virtuální realitou jsou poměrně mladé (první průmyslově využitelné headsety vznikly až koncem 20. století). Nicméně základ virtuálního světa byl položen v roce 1838, kdy byla popsána tzv. stereopse [1] (binokulární vidění) - schopnost lidského mozku vytvořit si prostorový vjem pomocí dvou obrazů (fotografie, videa) umístěných před očima pozorovatele, kde každý obraz je pořízen z odlišné pozice. Druhým milníkem byla sci-fi kniha Pygmalion's Spectacles [2] (1935, autor Stanley G. Weinbaum), kde se hlavní hrdina pomocí speciálního zařízení – brýlí – dokázal přenést do fiktivního

^{*)} **Ing. Tomáš FRIDRICHOVSKÝ, Ph.D.**, Ú12120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel, Fakulta strojní České vysoké učení technické v Praze, Technická 4, 166 07, Praha 6, +420-22435-2493, Tomas.Fridrichovsky@fs.cvut.cz, odborný asistent.

Bc. Josef ZÍKA, Ú12120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel, Fakulta strojní České vysoké učení technické v Praze, Technická 4, 166 07, Praha 6, Josef.Zika@fs.cvut.cz, student navazujícího magisterského studia – kolejová vozidla.

světa a svých chováním ovlivňovat průběh událostí. Toto lze chápat jako myšlenkový základ virtuální reality.

Prvotní technologie je z druhé poloviny 20. století – vytvořen a patentován přístroj „Sensorama“ viz **obr. 1**, vlevo (1962, autor Morton Heilig). Zde bylo pouštěno video jízdy na motorce po New Yorku včetně dalších vjemů (zvuky, vibrace, pachy, atmosférické jevy atd.).



Obr. 1 Simulátor motorky Sensorama a první headset s tracking technologií [2]

Fig. 1 Motorcycle simulator Sensorama and first headset with tracking technology [2]

První headset vzniknul v průběhu 60. let (Ivan Sutherland a Bob Sproull). Zařízení umístěné na hlavě viz **obr. 1** vpravo, s objektivem před každým okem. Sem se přenášel obraz na základě pohybů pozorovatele – jednoduché geometrické obrazce z počítače. Šlo o první tzv. head mounted display (HMD) s možností sledování polohy uživatele (trackingu).

Uvedené technologie se staly základem současného provedení VR, které využívají vyspělé technologické subjekty (v ČR např. Škoda Auto). Současné provedení je doplněno o vjemy zvukové, případně haptické (náhrada doteku) apod. Díky internetu je navíc možné propojení více uživatelů z různých pracovišť. To je výhodné z hlediska vzdálené správy a servisu, kdy inženýr na jednom kontinentu může navádět technika na opačné straně Země.

3 LABORATOŘ VR NA FAKULTĚ STROJNÍ ČVUT V PRAZE

Vznik laboratoře VR spadá na přelom let 2017-2018 – projekt na modernizaci výuky a laboratoří na Fakultě strojní (označení **ERDF**). Úkol na vytvoření laboratoře VR přidělen Ústavu automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel (pracoviště autora). Realizace 2020-2021. Dodavatelem technologií (HW i SW) se stala společnost **AV Media**.

Cílem projektu bylo zavedení nových prvků do výuky studentů, pokud možno, za účasti významných průmyslových partnerů – lepší cílení výuky pro potřeby průmyslu a výchova VR specialistů v rámci VŠ studia. Na základě těchto požadavků byla zvolena kombinace více druhů VR technologií s možností vzájemného propojení (kooperace). To vedlo na provedení laboratoře ve dvou oddělených místnostech. První slouží především pro analýzu a přípravu dat (tzv. cvičiště), druhá pak na práci s nimi (tzv. bojiště).

3.1 Počítačová učebna s frontální výukou (cvičiště)

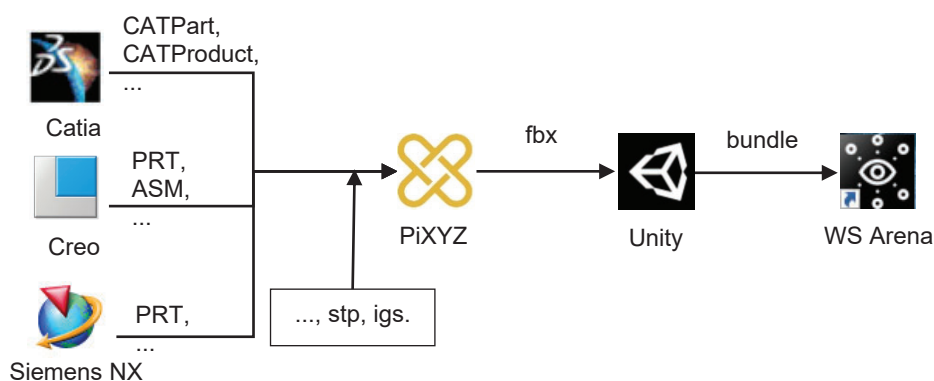
První část laboratoře tvoří standardní počítačová učebna s frontální výukou (učitelská katedra v přední části, studenti ve 3 řadách, celkem 1+16 stanic). Každá z pracovních stanic je vybavena náhlavním zařízením (neboli headsetem) HP Reverb G2 + 3D ovladačem viz **obr. 2**, se kterým je možné se připojit do VR. Všechny stanice jsou dále vybaveny 3D scannerem Shining EinScan-SE a SP (učitel). Součástí učebny je stanoviště s 3D tiskárnou Prusa i3 MK3S.



Obr. 2 eadset a 3D ovladače [3]

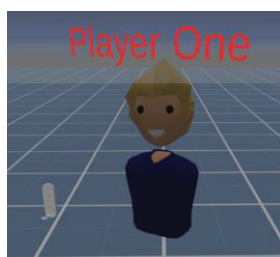
Fig. 2 Headset and 3D controllers [3]

Připrava dat, tj. převod z nativního formátu (v učebně je dispozici Catia, Creo, Siemens NX atd.) do dat určených pro práci ve VR se provádí pomocí skriptu, který po výběru dat spustí automatickou sekvenci operací a provede uložení do výstupního souboru. Schéma činnosti skriptu je znázorněno na **obr. 3**. Principem je převod nativních, anebo univerzálních (stp) dat do podoby trojúhelníků (procesem tzv. teselace), přiřazení barev a odstínů povrchů a následné zabalení do tzv. bundle souboru určeného pro prohlížení s headsetem. K tomu je určen software (dále SW) **Powerdeck WS Arena**, který nabízí základní interakce (řezy, anotace, pohyb, ukazovátko). Headset je vybaven snímačem polohy, takže v reálném čase reaguje na pohyby uživatele a dle toho vykresluje aktuální scénu.



Obr. 3 Schéma toku dat během konverze

Fig. 3 Schematic of conversion flow



Obr. 4 Avatar

Fig. 4 Avatar

Významnou možností učebny je propojit naráz všechny uživatele do jedné sešlosti, ve které mohou prohlížet stejná data a případně s nimi i interagovat. Pro zpřehlednění je každý uživatel přítomný ve VR vybaven tzv. avatarem. Jde o zjednodušený 3D model hlavy a hrudi daného uživatele. Nad ním je vždy umístěn název daného uživatele pro lepší přehlednost – viz **Player One** na **obr. 4**. Hlava avatara se pohybuje prostorem a zároveň rotuje podle aktuálního pohledu uživatele, hrud' se pouze posouvá.

3.2 Prostor pro volný pohyb (bojiště)

Druhé části laboratoře dominuje tzv. cave. Jde o prostor ohraničený plátny (celkem 4 plátna, tj. 4-kanálový), na která se přenáší (promítá) obraz, viz **obr. 5**, levá část. Pro správný vjem je nutné využít principu stereopse. Tzn. pro každé oko musí být generován jeden obraz daný polohou uživatele (respektive jeho oka). Na jedno plátno se naráz promítají dva mírně odlišné obrazy (stereoskopické zobrazení). Výsledný prostorový vjem je vytvořen pomocí stereoskopických brýlí Volfoni. Z hlediska SW lze využívat už dříve zmíněný program **WS Arena**, ale také SW od stejnojmenné společnosti **TechViz**, který umožňuje přímé zobrazení 3D dat z nativního SW bez nutnosti konverzí a dalších činností.

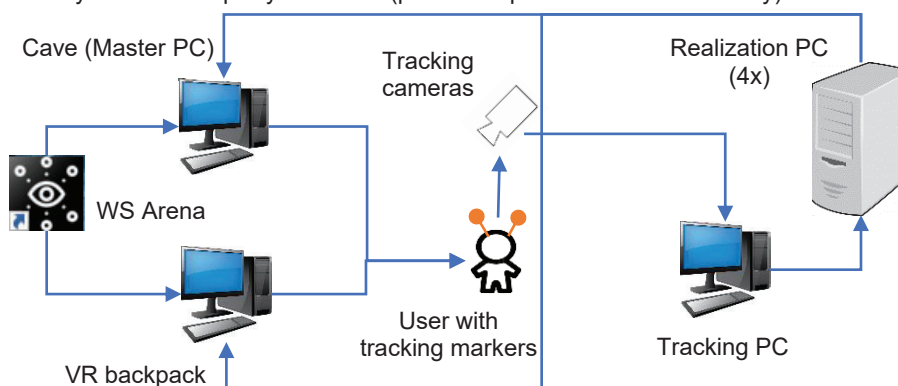
Součástí místnosti jsou 4 pracovní stanice vybavené tzv. batůžky viz **obr. 5**, pravá část. Jde o počítače HP určené pro umístění do zádového nosiče (batůžek) se kterými se lze za pomoci headsetů XTAL volně pohybovat ve vymezeném prostoru. Výhodou tohoto systému je, že člověk není omezen žádnými rušivými vlivy (viditelné hrany pláten u cave), není omezen v pohybu a dostává se mu vizuálně reálnějšího pocitu zobrazení.



Obr. 5 Pohled na cave a přenosný počítač (batůžek)

Fig. 5 View on cave and backpack station (backpack)

Princip činnosti obou uvedených částí tohoto pracoviště je znázorněno na **Obr. 6**. Prakticky jde o to, že na serverovém stroji (označeno jako Master PC) běží spuštěná sešlost ve VR. Data o této sešlosti a poloze jednotlivých účastníků jsou vyhodnocována ve sledovacím PC (trackovací PC) a posílána do realizačních PC na vygenerování jednotlivých stereoskopických obrazů (pro každé plátno dva stereo-obrazy).



Obr. 6 Schéma funkce cave a batůžků se sledováním polohy

Fig. 6 Schematic of cave and backpack function considering position tracking

Obraz je následně přes projektory a zrcadla promítán na plátna cave, případně použiteln do 3D headsetů. Aby bylo možno vyhodnocovat skutečné polohy uživatelů

v priestore, je vizuálne pokryt pomocou sledovacích kamer. Ty na základě tzv. markeru (tyčinky s kuličkami na každém objekte) predávajú informaciu o skutočnej poloze do trackovacieho PC.

Podobne ako v prípade cvičiště, i zde je mo nne naráz propojiť uživatele do jednej sešlosti. Propojenie je mo nne realizovat i napr i  jednotlivymi miestnosťami – prípadne oddelenymi pracovimi napr i  svetom, pokud je k dispozicii kompatibilni SW.

4 VYUŽITIE LABORATOŘE VE VÝUCE KOLEJOVÝCH VOZIDEL

Ačkovli je tento príspevek orientovan predovšetim na koľajov a vozidla, zde zm inene využitie lze prakticky aplikovat temer neomezene i v dalšich studijnich oborech. Ni e uvedene cinnosti jsou spise namatkovy vybrány. Video záznam bude uk azan v ramci prezentace.

4.1 Prezentacni u cely

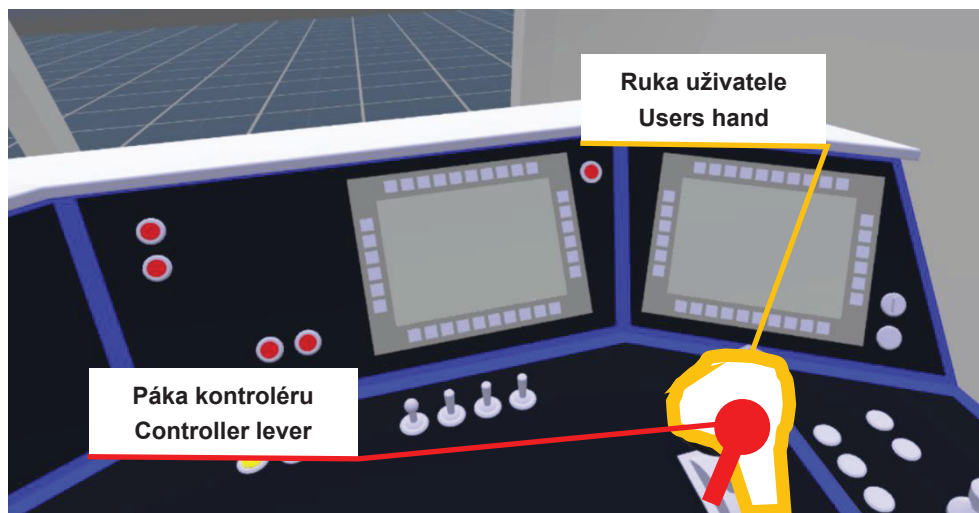
Možnost současného propojeni v etšimho množství u ivateľu do jednej sešlosti zlepšuje prezentacni možnosti predstavovaných dat. Toho je vyu iv ano pri obhajobach semestrálních projektů specializace koľajových vozidel. Predovšetim studenti 1. ročníku navazujícího magisterského studia, kteří se zabývaji sběrem dat a tvorbou modelů skutočnych podvozků a kompletních koľajových vozidel, zde mohou prezentovat výstupy svych projektů. Tomu pr ispív a skutočnost, že data lze pri vhodn e pr ipravě prezentovat napr i klad jako postupn e skl ad ani celku (po jednotlivych skupinach od kol po spojeni se skřini), ukázka vybraných skupin nebo provádění řezů konstrukcemi pro lepšii názornost. To vše pri počtu a  17 u ivateľu v PC učebně a dalšich alespoň 5 u ivateľu ve druhé miestnosti.

Výsledny dojem umocňuje fakt, že zobrazení ve VR odpovídá 1:1 zdrojovym datum, tj. skutočnym rozměrům vozidla (poukud s nimi bylo uvažováno). Díky tomu lze podstatn e l epo ukázat (a predovšetim predstaviti si) skutočné proporcie popisovaného objektu – napr. délka tramvaje, rozměry lo iskov e skřini nákladního podvozku atd. Což je věc, kterou lze na monitoru počítače, prípadne na projekcnim plátně provést jen obtížn e.

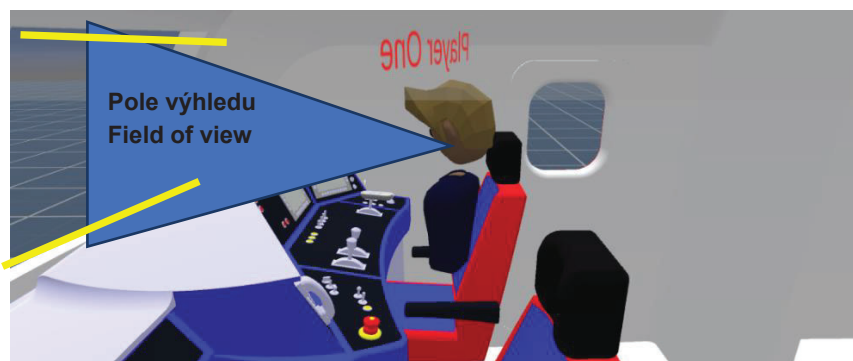
4.2 Ergonomie konstrukci

Sledováni polohy uživatele a jeho ovl adacich prvku v priestore učebny lze využit pro vyšetření ergonomických parametrů vozidla. Pomocou batůžek a headsetu XTAL je mo nne načíst kabinu vozidla a její nejbli šii okolí (důležité body na trati) a ověřovat následující:

- Ověření výhledu z bočního okna kabiny, tj. schopnost dojit k oknu, dosáhnout na ovl adacii prvek pro jeho otevření a vyklonit z něj hlavu. K tomuto lze s výhodou využit v etšimho počtu u ivateľu, kteří mohou zjišťovat, zdali strojvedoucí cestou nenar azii do predmětů (prípadne dalšich osob – pomocník), jeho hlava se nedostane pr iľiš blízko konstrukce vozu apod.;
- Schopnost řidiče vozidla dosáhnout ze sedala na důležité ovl adacii prvky, jako je páka kontroleru, ovládáni brzdy vozidla apod. K tomu lze využit tzv. rukavici opatřenou orientačnimi body (markery), která se promítne do spuštěné scény. Prostym pohledem lze určit, zda dosáhne na ovl adacii prvek, či nikoliv, viz **Obr 7**. Zároveň lze určit (pocítit), jak snadné je na tento prvek dosáhnout (siln e nata enii ruky nebo naopak její nepríjemné velké zalomenii);
- Prok az ani výhledů z kabiny řidiče skrz čelnii sklo dle UIC 651 [4] a to v různych polohach odpovídajících malému nebo velkému řidiči, poloze sedala apod. viz **obr 8**. Doplněním 3D modelů okolí (návěsti) lze snadno určit, zdali výhled není jednak něčim překryt, prípadne narušovan jinymi vlivy – odlesk jiného světelného zdroje na čelnim skle apod.;



Obr. 7 Ověření ergonomie kabiny
Fig. 7 Cabin ergonomic check



Obr. 8 Kontrola výhledů dle UIC 651
Fig. 8 Field of view check according to UIC 651

4.3 Vyšetření kolizí

Systém interakcí programu WS Arena umožňuje za pomoci batůžků vyšetření kolizí při montáži (např. rozměrných objektů). Za pomoci náhradního tělesa lze vyzkoušet, zdali jde do kabiny pronést předmět (např. sedadlo řidiče, rozvaděč) skrz boční dveře kabiny nebo dveře v příčce strojovny. Uživatel, může posouvat a rotovat s uvažovaným objektem. Zároveň také prostým pohybem v prostoru rychle ověřit aktuální velikost vůlí v potenciálně úzkých a nevyhovujících prostorech. Oproti skutečnému objektu umístovanému do skutečné kabiny lze navíc svobodně procházet stěnami tak, aby bylo možno situaci detailně prozkoumat v libovolného úhlu pohledu, případně navrhnout, zda by bylo nutné některé části buď demontovat, anebo při finální montáži umístit až později.

5 NEGATIVA SPOJENÁ S PROVOZEM

Technologie VR je kromě přínosů spojena i s jistými negativy, která se v rámci výstavby a následně i provozu laboratoře objevily:

- **Složitost zařízení** – Každé z pracovišť nabízí určité možnosti podmíněné danými HW & SW požadavky. Obecně platí, že čím je systém rozvinutější (např. možnost propojení více uživatelů), tím je i zákonitě složitější a tím hůře se hledají příčiny chyb a závad. Příkladem z provozu je situace, kdy přestal fungovat jeden z monitorů na řídicím počítači (Master PC pro cave). Po několika hodinové diagnostice bylo zjištěno, že jeden ze zesilovačů určených pro přenos signálu mezi počítačem a monitorem byl svou zadní stranou (strana s konektory) nevhodně umístěn do ochranné skříňky příliš blízko k jejím dvířkům. To způsobovalo konstantní tlak na jeden z HDMI kabelů, který byl zhruba po 1 roce provozu mírně povytažen ze zdířky, díky čemuž přestal monitor fungovat.
- Systém je navíc háklivý na verzi SW (jak VR, tak i Windows), případně ovladačů. To jde v rozporu s trendem držet systém aktualizovaný – může způsobit nefunkčnost zařízení, anebo ohrožení kybernetické bezpečnosti.
- **Cena** – Množství zařízení a požadavky na jejich kvalitativní parametry vedou na poměrně vysoké ceny celého zařízení. Obecně lze uvažovat následovně:
 - cena menších komponent se pohybuje v řádu nižších desítek tisíc Kč (tj. nižší jednotky tisíc EUR);
 - cena jedné pracovní stanice se pohybuje v řádu vyšších desítek tisíc Kč (tj. jednotky tisíc EUR);
 - cena jednoho kanálu (plátna) v cave se pohybuje okolo 2 Mil. Kč (tj. cca 100 000 EUR) včetně SW a dalšího nutného vybavení.
- Cena za kompletní dílo se tak snadno dostane na částky v řádu nižších desítek Mil. Kč. (cca 1 Mil. EUR). K tomu je nutné uvažovat různé výkyvy na trhu s IT (krize s polovodiči, těžební horečka kryptoměn apod.), které mohou výsledný rozpočet, respektive výslednou technologickou vybavenou značně ovlivnit.
- **Zázemí & infrastruktura** – Plynulý provoz vyžaduje jednak vysoce výkonný HW, ale také vhodné zázemí pro provoz. Prostory pro laboratoř musí mít kromě vhodného el. příkonu zajištěno datové připojení, klimatizaci apod. Prostor dále musí splňovat určité minimální rozměry, aby byl umožněn dostatečný pohyb uživatelů.
- Toto se výrazně projevilo už při projektování učebny, kdy byl vhodný prostor (místnost) nalezen až po několika pokusech. Bohužel výsledná volba nebyla nejšťastnější – laboratoř nejen že je umístěna na pracovišti v centru Prahy (horší dostupnost, menší počet ústavů), ale je umístěna v půdním prostoru historické budovy se střechou ve špatném technickém stavu. Už při stavbě a následně i na začátku provozu bylo nutné řešit problémy se zatékáním (bez závažných vad na zařízení).
- **Optická přesnost** – Technologie pracuje především s optickými prvky. Sebelepší zařízení nebude pracovat správně ve chvíli, kdy uživatel zakryje sledovací body na zařízení, nebo se dostane mimo zorné pole kamer. Kamery jako takové lze navíc poměrně snadno splést předměty s vysokou odrazivostí – brýle, hodinky, pásky apod., což se může projevit trhnutím obrazu – systém na okamžik vyhodnotí, že se uživatele nachází zcela jinde a zrak uživatele sem skokem přenesení a zase vrátí. Opticky kazí dojem, v případě batůžků může tento skok způsobit ztrátu orientace, rovnováhy a pád. Samostatnou kapitolou je i minimální poškození zobrazovacího zařízení, respektive jeho geometrie – vede na vady zobrazení (problém především u cave).
- **Fyziologie člověka** – Výsledný vizuální vjem je do značné míry závislý na zraku uživatele. Dnešní HMD displeje zpravidla mají schopnost změřit zrak a přizpůsobit přenášený obraz jeho kvalitě, tj. kompenzovat dioptrické brýle a některé menší zrakové vady. Větší vady zraku, případně slepotu na jedno z očí vykompenzovat nedokáží. Výsledný vjem tak může postrádat prostorovou hloubku, případně i

způsobit nevolnost (ta se může projevit i u jinak zdravého jedince). Skutečnost, že HMD obsahují dvojici obrazovek umístěných jednotky cm od oka uživatele mohou při velmi dlouhém používání nepříznivě ovlivnit kvalitu zraku, způsobit bolest hlavy, případně se projevit ve snech uživatele (údajně barevně velmi pestré, toto zatím nemůže autor článku z vlastní zkušenosti potvrdit).

- **Zastarávání technologií** – Brýle XTAL + batůžek, které byly v době pořizování učebny vnímány jako zajímavý technologický produkt se dnes jeví jako přežitě, nahrazené uživatelsky přívětivějšími technologiemi, případně technologiemi s více možnostmi.

6 ZÁVĚR

Z výše uvedeného je zřejmé, že technologie VR nabízí poměrně bohaté možnosti využití při návrhu vozidel, jejich zkoušení a propagaci výsledků činností. Ty lze rozšířit i o další oblasti, jako je servis & údržba, návrh designu interiéru/exteriéru pro zákazníka, anebo vedení kontrolních dnů projektů. Prakticky nic nebrání, aby se členové týmu zodpovědní za jednotlivé skupiny přihlásili do jedné sešlosti a nad rozpracovaným objektem řešili otevřené body. Takto lze vymýšlet další a další aplikace napříč celým průmyslem a nejenom jím. Výše uvedené bylo vázáno především na fakultní laboratoř a možnosti jejího využití. Prakticky se VR vyskytuje v širokém rozsahu odvětví, jako je už zmíněný průmysl, obchod, výcvik (zdravotnictví, armáda, školení zaměstnanců...) apod.

Z tohoto pohledu VR nabízí veliké možnosti, které by bylo vhodné i přes zmíněné nevýhody a dětské nemoci do budoucna rozvíjet v rámci výuky na vysokých školách a spolupráce s průmyslovými partnery.

Literatura

- [1] Stereopsis, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Binocular_vision, citováno k 20. 6. 2023. [2] History of VR, <https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr>, citováno k 20. 6. 2023. [3] HP Reverb G2, <https://www.hpmarket.cz/productOpt.asp?konfId=1N0T5AA> citováno ke dni 20. 6. 2023. [4] UIC 651, Layout of driver's cabs in locomotives, railcars, multiple-unit trains and driving trailers. UIC, 4th edition, 2002.



Resumé

Příspěvek se zabývá laboratoří virtuální reality, která vznikala v prostorách Fakulty strojní ČVUT v Praze jako nástroj pro modernizaci výuky v průběhu let 2017-2021. Popisuje možnosti využití virtuální reality při výuce, výzkumu, návrhu a prezentace v oboru kolejových vozidel (ale i dalších oborů a specializací) na Fakultě strojní ČVUT v Praze. Příspěvek shrnuje poznatky z provozu laboratoře, výhody a také určitá úskalí spojená s využitím těchto technologií.

Summary

This paper deals with project "Laboratory of virtual reality" which was performed on Faculty of mechanical engineering (CTU Prague) within years 2017 and 2021. The aim of the project was to modernise teaching methods used in specialization of railway vehicles (also others). The paper summarizes experiences from use in the laboratory involving research, design and presentation. It also shows advantages and disadvantages related to this technology.