

VYUŽITÍ SYSTÉMU VRUT VE VÝUCE KOLEJOVÝCH VOZIDEL

USE OF THE VRUT SYSTEM IN EDUCATION OF RAILWAY VEHICLES

Tomáš FRIDRICHOVSKÝ¹

e-ISBN: 978-80-7560-564-1
DOI: 10.46585/spkv20252677

ISSN: 3029-8342



Abstrakt

Tento text navazuje na starší příspěvek autora z konference ProRail 2023 v Žilině, který byl věnovaný laboratoři virtuální reality na Fakultě strojní ČVUT. Příspěvek se zabývá využitím systému VRUT (Virtual Reality Universal Toolkit, vyvíjí společnost Škoda Auto a.s.) ve výuce kolejových vozidel na Fakultě strojní. V příspěvku jsou popsány základní vlastnosti systému, jeho obecné použití a přínos pro studenty fakulty.

Klíčová slova

virtuální realita, kolejová vozidla, VRUT, výuka

Abstract

This text is a sequel of the author's earlier paper from the ProRail 2023 conference in Žilina, which was dedicated to the virtual reality laboratory at the Faculty of Mechanical Engineering on the CTU. The paper deals with the use of the VRUT (Virtual Reality Universal Toolkit, developed by Škoda Auto a.s.) system in teaching of rolling stock at the faculty. The contribution describes the basic properties of the system, its general use and benefits for students of the faculty.

Keywords

virtual reality, railway vehicles, VRUT, teaching

1 ÚVOD

Virtuální realita (VR) je jedním z prvků vývoje v mnoha odvětvích průmyslu, výuky, obchodu atd. Ačkoliv se tato technologie zatím příliš nezabydlela ve větším množství společností, postupně si hledá svou cestu využití v oblasti vývojových, anebo výrobních aktivit napříč průmyslovým spektrem. Tlak na urychlení vývoje a redukci nákladů dnes vede na nutnost minimalizovat (ideálně zcela eliminovat) výrobu prototypů a různých funkčních vzorků, které mají za cíl jednak ozkoušet funkční principy produktu, ale také odhalit případné slabiny a nedostatky ještě před zavedením do sériové výroby. Právě virtuální realita se stává jednou z možností, jak zrychlit vývoj produktu a zredukovat související náklady.

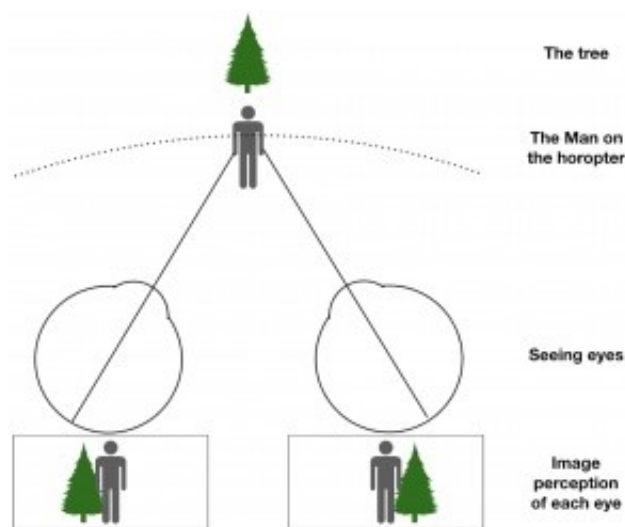
2 VIRTUÁLNÍ REALITA OBECNĚ

Pod pojmem virtuální reality lze najít poměrně široké spektrum audio-vizuálních technologií, jejichž cílem je buď doplnění standardního vnímání o dodatečné virtuální prvky (augmentovaná realita, dnes poměrně běžné ve světě mobilních telefonů), anebo uživatele kompletně přenést do virtuálního světa.

¹ Ing. Tomáš Fridrichovský, Ph.D., © 0000-0001-8532-1951. ČVUT, Fakulta strojní, Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel. Technická 4, 166 07 Praha, Česká republika, tel.: +420 723 545 446, e-mail: tomas.fridrichovsky@fs.cvut.cz

Pohyb ve virtuálním prostředí pak lze pojmut buď jako volný pohyb v prostoru, kdy se uživatel může volně pohybovat ve vyhrazeném prostoru (vyžaduje přesné snímání polohy uživatele), anebo pohyb omezený na prostor pracoviště (PC stůl), kdy se uživatel posouvá pomocí ovládacích prvků a na základě vnitřních snímačů náhlavní soupravy, dále headset.

Prakticky veškeré VR technologie využívají tzv. stereopsie [1]. Tento jev spočívá v tom, že lidský mozek je schopný si ze dvou obrazů objektu (např. fotografií) zaznamenaných z mírně odlišné polohy a umístěné ve správné vzdálenosti před oběma oky, vsugerovat hloubku obrazu. Tzn., pozorovatel má v takovém případě dojem, že nekouká na dvojici dvourozměrných obrazů, nýbrž na jednu třírozměrnou scénu – vnímá hloubku. Princip je graficky naznačen na obr. 1, kde se pozorovatel dívá na dvě fotografie (člověk a strom), přičemž každá fotografie je focena z mírně odlišného místa a úhlu odpovídajícího poloze očí pozorovatele. Všechny headsety, anebo virtuální brýle proto disponují dvěma zdroji obrazu, který je uživateli přenášén, a to buď přímo prostřednictvím vnitřních monitorů, anebo v rámci stereoskopických brýlí, které postupně propouští obraz pro jedno a druhé oko. To je případ technologie typu cave [3], kde je promítán stereo-obraz na plátna.



Obr. 1 Princip stereopsie [2]

Na vizuálně věrohodné zobrazení je vázán požadavek jednak na dobře fungující zrak, ale také na dostatečné výpočetní kapacity, které dokáží naráz vygenerovat jeden obraz pro každé oko. S tím jsou spjaty různé negativní projevy spojené s nesplněním požadovaných podmínek:

- nedostatečný výpočetní výkon – obraz se zasekává, uživatel vnímá trhavý pohyb ve scéně;
- špatný zrak uživatele – mozek si nespojí dva obrazy do jednoho, chybí správná hloubka prostoru;
- nesoulad mezi jednotlivými lidskými senzory – obraz se hýbe, ale tělo necítí zrychlení, nevolnost.

Virtuální realita samozřejmě není omezena pouze na vizuální vjemy. Do scény lze vložit zvuky okolí, jednotlivých předmětů (zvuk motoru), anebo vložit hlasy účastníků dané scény. Zároveň lze využít i dalších lidských vjemů, jako jsou různé atmosférické projevy (počasí), zápachy, anebo využít hmatových (haptických) prvků – skutečný volant, nebo páka kontroléru promítnuté do VR scény.

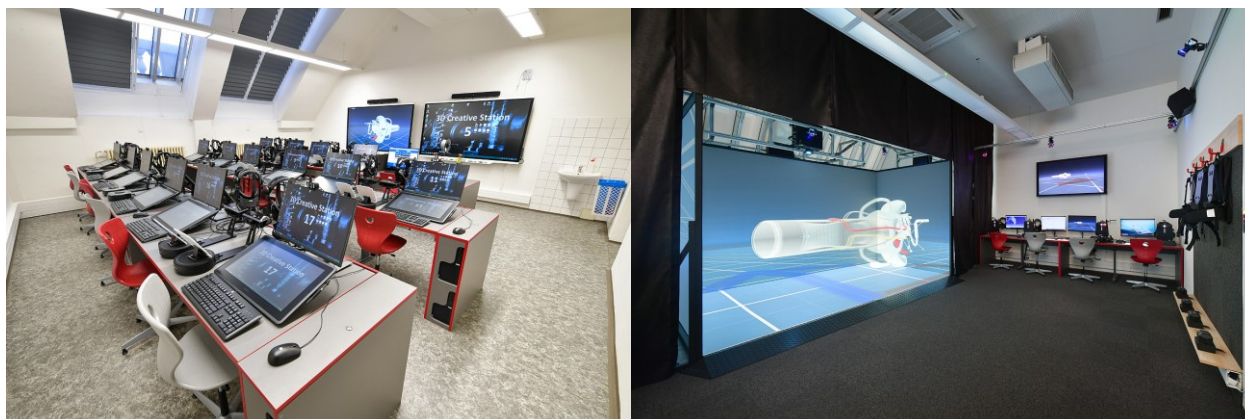
3 VIRTUÁLNÍ REALITA NA FS ČVUT

Podchycení trendu minimalizace prototypové výroby, možností vzdálené správy nebo nových výukových metod vedlo v minulosti k vybudování laboratoře virtuální reality přímo v prostorách Fakulty strojní ČVUT v Praze. Jejím cílem bylo doplnit výuku o nové prvky a seznámit studenty s některými základními aspekty tohoto systému jak z hlediska přípravy dat, tak také práce s nimi a případnými komplikacemi, které mohou při jejím používání nastat. Záměrem bylo, aby se studenti mohli seznámit s technologií, kterou by následně ve své technické praxi mohli začít hned využívat (tj. měli by určité povědomí o principu), případně jí v rámci svého budoucího zaměstnání mohli zavádět (znají možné benefity technologie a požadavky na systém). Základní popis laboratoře byl uveřejněn v příspěvku na konferenci v ProRail 2023 v Žilině [4].

Laboratoř virtuální reality na Fakultě strojní ČVUT byla uvedena do provozu v roce 2021. S využitím tehdy dostupných technologií vzniklo několik pracovišť nabízejících různé technologie virtuální reality. Dominujícím prvkem byl tzv. cave, viz obr. 2 vpravo. Jde o prostor ohraničený čtveřicí pláten, na která je pomocí projektorů přenášén stereoskopický obraz (pro pravé a levé oko), který je prostřednictvím stereoskopických brýlí převáděn na 3D obraz (respektive vjem). Obraz je generován na základě aktuální polohy uživatele v prostoru, což bylo zároveň využíváno i jako vstup pro výpočet zobrazení v přenosných

počítačích, tzv. batůžcích. Druhou částí je počítačová učebna s celkem sedmnácti pracovními stanicemi a headsety, viz obr. 2 vlevo. Součástí je rovněž možnost 3D scanu a 3D tisku.

Pro zobrazování byl původně určen software poskytnutý dodavatelem technologie nazvaný WS Arena a speciální software od společnosti TechViz určený k přímému přenosu 3D dat z nativního CAD SW na plátna cave. Ačkoliv zobrazovací SW umožňuje poměrně rychlé a jednoduché prohlížení dat ve VR ve spojení s kooperací a některými dalšími prvky interakce, praktické využití technologie a její celkový přínos byly relativně malé. Zobrazované geometrie se chovaly jako zcela mrtvé bez možnosti detekce vzájemných kolizí apod. Profesionální SW typu TechViz sice umožňuje pokročilé možnosti interakcí, ale bohužel toto je výrazně omezeno cenami za licence SW, případně značně omezenou kompatibilitou s jednotlivými CAD SW, omezením na dané verze programů apod.



Obr. 2 Laboratoř virtuální reality na FS ČVUT [5]

Nicméně, v relativně nedávné minulosti byla navázána spolupráce mezi Fakultou stojní a spol. Škoda Auto a.s., která se technologiím virtuální reality dlouhodobě věnuje a shodou okolností si vyvíjí a využívá vlastní systém pro VR, pojmenovaný VRUT. V rámci této spolupráce došlo k implementaci systému VRUT do laboratoře a následnému zavádění do výuky.

4 SYSTÉM VRUT

Pod pojmem VRUT se skrývají slova Virtual Reality Universal Toolkit (Univerzální nástroj pro virtuální realitu). Dále je popsána historie a některé základní principy tohoto systému. Vzhledem k omezenému rozsahu příspěvku jsou popisovány především prvky relevantní k použití a výuce na FS ČVUT.

4.1 Historie

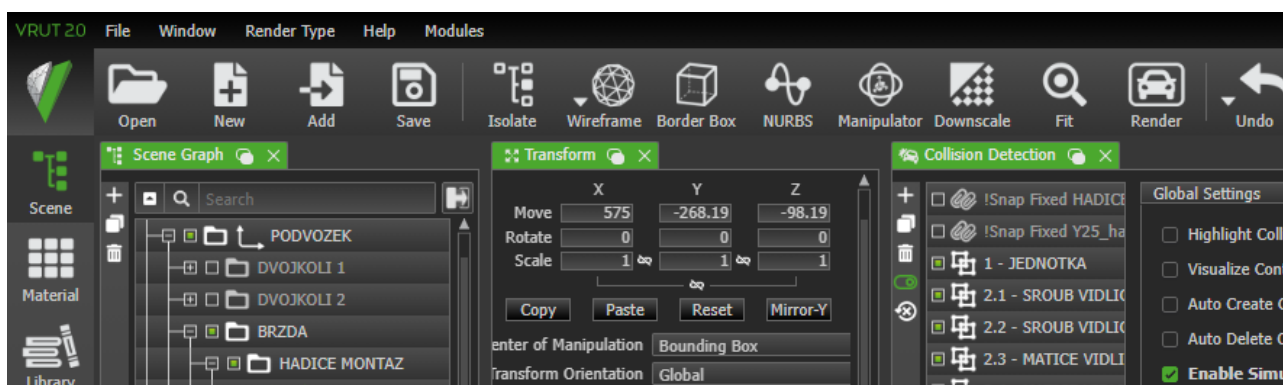
Historie VR ve společnosti Škoda Auto se datuje cca na přelom tisíciletí, kdy byly v průběhu vývoje první generace modelu Fabia zaváděny nové zobrazovací technologie (promítání 3D scén na plátno) pro účely vizualizací produktů a variací jejich provedení. Tehdy ještě závislé na velkém výpočetním centru a s omezenými grafickými efekty. Od té doby prodělal systém VR poměrně velký vývoj, kdy se z promítání na plátno přešlo k virtuálním brýlím a postupnému zavádění zobrazovacího a pracovního systému VRUT.

Jeho historie sahá do cca první dekády 21. století, kdy byla v rámci studentského projektu na Fakultě elektrotechnické ČVUT vytvořena první verze programu [6]. Ten byl následně zaveden do Škoda Auto a postupně zdokonalován. V současnosti SW nese označení VRUT 2.0 a kromě pracovních možností nabízí také poměrně přívětivé uživatelské prostředí.

4.2 Základní principy

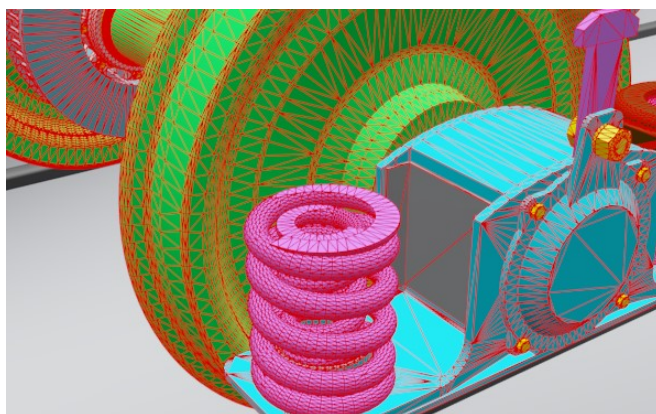
Systém VRUT je, podobně jako další programy tohoto typu, založen na herním platformě Unity. Pro přenos mezi grafickým jádrem VRUT a VR brýlemi slouží prostředí Steam VR. To zaručuje poměrně bohatou kompatibilitu s různými typy brýlí a ovladačů. Charakteristickým prvkem systému je černo-zelený design reflektující barevné schéma společnosti, znázorněno na obr. 3. Prostředí je doplněno tzv. moduly,

které umožňují pracovat s geometriemi, přiřazovat materiálové vlastnosti, světelné zdroje a řešit kolize mezi jednotlivými prvky scény. Právě poslední ze jmenovaných vlastností je poměrně význačným prvkem.



Obr. 3 Pracovní prostředí systému; zdroj: autor

Systém nepracuje s ryze objemovými, anebo plošnými prvky, ale je zaměřen na práci s prvky typu trojúhelník, kterými jsou veškeré zdrojové objekty pokryty, respektive nahrazeny. Trojúhelníky vytváří síť, viz obr. 4, která je využita pro další činnosti. Právě prvky sítě jsou nositeli geometrie, materiálových vlastností a slouží jako podklad pro vyšetřování kolizí včetně zjednodušených pevnostních výpočtů – určeno pro simulace pružných dílů (popsáno dále). Na síťové prvky jsou přímo vázány i jednotlivé CAD formáty, které lze do VRUT za standardních podmínek importovat – např. *.igs, *.wrml apod. Tj. při práci s běžnými 3D CAD SW je nutné uvažovat mezikrok v rámci přípravy dat.



Obr. 4 Ukázka model pokrytého trojúhelníkovou sítí; zdroj: autor

Systém umožňuje v rámci svého kolizního řešiče vyhodnocovat jednotlivé prvky sítě a na základě relativní polohy určit, zda dochází ke kontaktu mezi dvojicí objektů. Výraznou výhodou je možnost nastavit parametry sítě a její odezvu na okolní objekty. Základní možnosti jsou následující:

- lze přiřadit tloušťku sítě a tím zvětšit oblast, kdy začínají objekty interagovat,
- síť lze posunout dovnitř objektu a tím vyřešit modelový průnik závitu šroubu a jeho otvoru,
- škálování prvků sítě tak, aby byla zaručena dostatečná citlivost,
- přiřazení hmotnosti a tlumení, má vliv na setrvačnost pohybujících se objektů,
- vzájemná ignorace vybraných prvků, umožňuje vyloučit některé objekty ze simulací (prolínání).

Scény samozřejmě nemusí být tvořeny jenom pracovními objekty. Lze vytvářet prakticky libovolná okolí scény (interiér, exteriér, různé druhy osvětlení) pomocí standardních panoramatických HDR snímků, eventuálně vytvořit 3D model místnosti apod.

5 VYUŽITÍ VE VÝUCE NA FS ČVUT

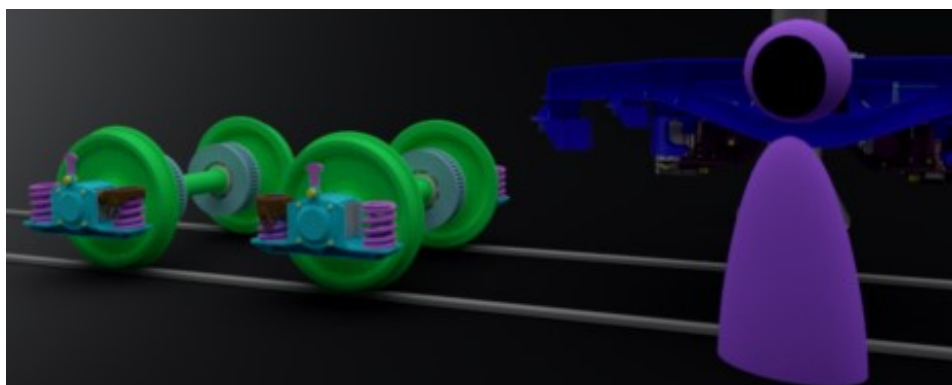
Systém VRUT je postupně zaváděn do výuky v magisterských studijních oborech jako dodatečný prvek projektových předmětů. Záměrem je, aby se studenti seznámili se systémem, tj. byli schopni načíst

zdrojová data, přiřadit jim materiálové + vizuální vlastnosti a vytvořit scénu montáže. V následujících podkapitolách jsou uvedeny základní aplikace systému VRUT v rámci výuky na FS ČVUT. Zároveň jsou také zmíněny některé aplikace vázané spíše na vývoj v automotive, nicméně prakticky je lze využít v různých oblastech průmyslu.

5.1 Prezentační účely

Podobně jako v případě staršího systému WS Arena lze i systém VRUT využít pro skupinové ukázky pracovních výsledků. Systém umožňuje připojení více uživatelů do jedné scény a společnou prohlídku. Výhodou je, že sdílení dat je zprostředkováno prostřednictvím šifrované síťové komunikace bez nutnosti předchozího přenosu pracovních souborů, rizika ztráty dat apod. Prakticky lze propojit uživatele na libovolném místě – vázáno na možnosti výpočetního výkonu a kvality internetového připojení.

Kooperativní modul umožňuje standardní možnosti jako je provádění řezů, skrývání součástí apod. Každý uživatel má přiřazen virtuální avatar znázorněný na obr. 5, který znázorňuje aktuální polohu v prostoru.

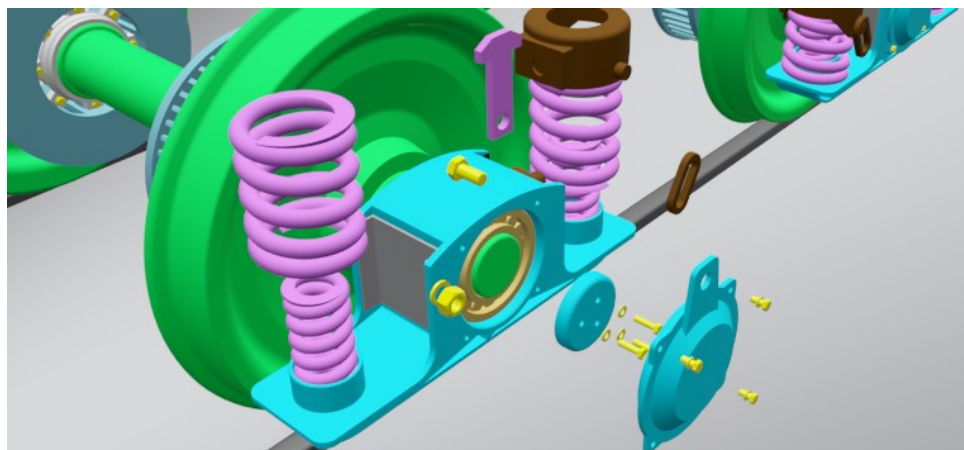


Obr. 5 Avatar uživatele; zdroj: autor

5.2 Simulace montáží

Řešič kolizí mezi objekty lze využít pro návrhy a zkoušky výrobních postupů. Postupným přidáváním vazeb mezi objekty a definováním požadovaných vzájemných pozic lze vytvářet scénáře pro nácvik montáží, výměny dílů a další činnosti. To vše s přihlédnutím na kolize s okolními objekty. Lze tak celkem snadno vyšetřit, zda zástavbové prostory umožňují instalaci uvažované komponenty od relativně malých dílů (od velikosti spojovacího materiál/nástroje, ložisek) až po rozměrné objekty (umístění sedadla do kabiny strojvedoucího, spuštění rámu podvozku na dvojkolí viz obr. 6 atd.).

Veškerá manipulace se standardně provádí pomocí 3D ovladačů, viz obr. 7 (zpravidla 2 naráz), které umožňují uchopení objektu, jeho přesun a zároveň rotaci v prostoru. Uchopení je řešeno buď pomocí laseru (ukázat a chytit), anebo dotykem ovladače dané komponenty a přesunem.



Obr. 6 Připravený model určený k nácviku montáže ložiskové skříně a vypružení; zdroj: autor



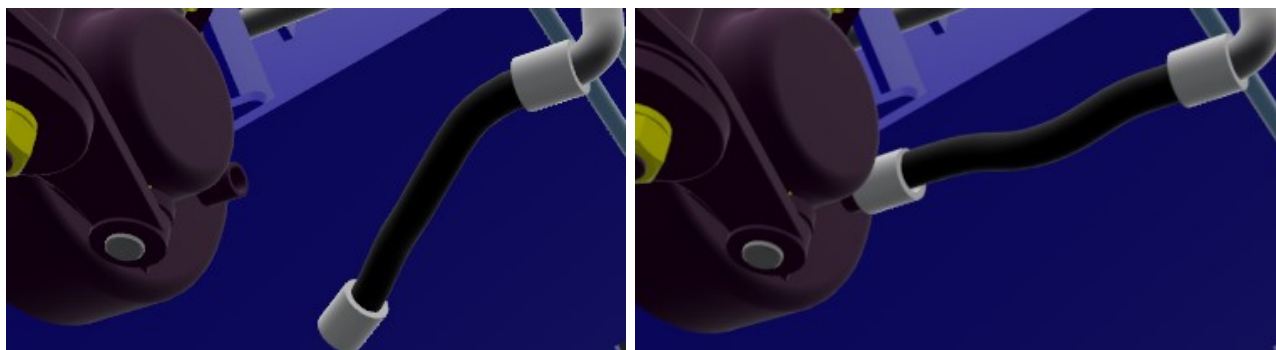
Obr. 7 Vizualizace 3D ovladačů; zdroj: autor

Na případné kolize je uživatel upozorněn různými způsoby od prostého zastavení pohybu objektu v prostoru, vybarvení geometrie, zobrazení kontaktních šipek, viz obr. 8, anebo vibracemi ovladače (je-li dostupné, náhrada haptického – dotykového systému). Výhodou je, že numerické modely systému VRUT jsou zpravidla pesimističtější oproti realitě. Platí, že geometrie, kterou lze sestavit v prostředí VR bývá zpravidla vždy možné sestavit ve skutečnosti.



Obr. 8 Výskyt kolize mezi dvojicí geometrií – znázornění pomocí šipek (kontaktní tlak + orientace); zdroj: autor

Pokrytí objektů sítí zároveň dovoluje přiřadit mechanické parametry (Youngův modul, Poissonova konstanta) jednotlivým dílům a na základě toho vyhodnotit jejich tuhost, respektive poddajnost. Hlavní využití se nabízí v případě montáží kabelů, hadic a jiných pružných součástí, jak je naznačeno na obr. 9. Uživateli je umožněno vyšetřit jednak možnost připojení konektoru do zásuvky (s uzamknutím konektoru v koncové poloze), ale zároveň ověřit případnou pohyblivost takto propojených součástí. Mechanický model je možné nastavit tak, aby povolil ohyb, ale už ne protažení. Lze tak snadno vyzkoušet navrženou délku kabelu bez nutnosti dodatečného zkracování. To vše lze provádět v real-time přímo v prostředí virtuální reality. Omezením je tak pouze výpočetní výkon, nicméně pro standardní kabely, hadice apod. postačuje běžný, respektive i letitý hardware s dedikovanou grafickou kartou.



Obr. 9 Zapojení pružné hadice mezi brzdovou jednotkou a napájecím potrubím; zdroj: autor

5.3 Ergonomie designu

V rámci systému a jeho simulací lze zahrnout různé pomocné prvky a ty taktéž promítnout do VR. Kromě 3D ovladačů je možné takto zobrazovat montážní pomůcky, ruce uživatele apod. Rovněž je možné využívat už zmíněných haptických prvků – zde v pravém slova smyslu, které krom vizuálního dojmu umožňují i dotyk.

Uživatel takto může vyzkoušet, zda a jak je schopný dosáhnout na různé ovládací prvky, případně zda mu jiné nebrání ve výhledu. Zároveň lze vytvářet simulace jízdy vozidel, kdy se uživatel učí ovládat vozidla, případně lze zjistit, jak snadno dokáže najít požadovaný prvek apod. Toto je využíváno především v automotive, kde se zjišťuje celková uživatelská přívětivost a přehlednost designu nových vozidel.

5.4 Hra světla a stínů

Aplikace reálných materiálů včetně indexů lomu světla apod. umožňuje vytvářet simulace osvětlení, intenzity stínů apod. Při správném nastavení vstupních dat lze vyšetřit temné kouty v interiérech vozidel, místa vyloženě přesvícená apod. Příkladem jsou kabiny strojvedoucích, kde se často řeší intenzita a rovnoměrnost osvětlení.

Specialitou systému je schopnost vytváření světelných map světlometů. To nachází využití především v automotive, kde lze ještě před výrobou prvního prototypu vyzkoušet, jak bude světlo svítit, jakou bude mít mapu, případně jak se bude promítat na vozovku a do okolí.

5.5 Grafické výstupy – rendering

Díky fyzikálně poměrně přesnému modelu lze vytvářet velice věrné rendery jednotlivých objektů. S rozvojem ray-tracing² technologie a prudkým nárůstem výpočetního výkonu současných grafických karet lze s vhodným HW vytvářet prakticky fotorealistické scény v reálném čase, viz obr. 10.



Obr. 10 Ukázka renderu dvojice vozidel – prostředí VRUT studio; zdroj: autor

² Ray tracing (česky sledování paprsků) je vizuální technologie, která využívá souhry zdrojů světla a vlastností reálných materiálů (především index lomu světla). Zdroje světla vysílají světelné paprsky (fotony) dané intenzity a odstínu, které interagují s různě barevnými povrchy jednotlivých objektů (odráží se, prochází, jsou pohlcovány) a následně sami slouží jako další světelné zdroje. Systém takto při výpočtu sleduje cestu jednotlivých paprsků od zdroje až po poslední interakci. Takto lze vytvářet násobné odlesky paprsků a docílit fyzikálně přesných zobrazení. Nevýhodou technologie jsou nároky na výpočetní výkon zobrazovacího zařízení, kde při jeho nedostatku dochází k zrnitosti obrazu – tmavé body v obrazu udávají místa, kam ještě výpočetně nedopadly žádné světelné paprsky.

Zároveň lze vytvářet i rozměrné obrazy typu poster nebo billboard s prakticky libovolným rozlišením. V takovém případě už ale zpravidla nelze hovořit o real-time renderu, nýbrž o několika hodinovém až několikadenním výpočtu v rámci výpočetního centra.

6 ZÁVĚR

V rámci příspěvku byly ukázány některé základní aspekty technologie virtuální reality, zběžný popis laboratoře na fakultě strojní ČVUT v Praze a některé inovativní prvky spojené se zavedením systému virtuální reality VRUT od Škoda Auto a.s. Pomocí systému VRUT bylo možné studenty blíže seznámit s virtuálními technologiemi z hlediska praktického využití v průmyslu a zároveň je upozornit na možná negativa použití (chyby dat při konverzi, potíže s orientací v prostoru, problémy dané zdravotním stavem uživatele). Z hlediska zpětné vazby lze říci, že reakce jsou veskrze pozitivní, a to jak ze strany studentů fakulty, tak i externích návštěv z různých stupňů školství.

Cílem příspěvku zároveň bylo ukázat některé současné možnosti VR a případný přínos jak do oblasti vývoje kolejových vozidel, tak průmyslu obecně. Virtuální realita dnes není doménou pouze průmyslového odvětví, nýbrž stále více se promítá i do oblastí typu zdravotnictví, obchod, výuka apod. Tomu přispívají jednak stále lepší výkonové parametry výpočetní techniky, ale také fakt, že zařízení pro zobrazování VR se dnes cenově dostávají na poměrně přijatelné hodnoty, které svou cenou odpovídají hlavním komponentám stolních počítačů. Samozřejmě lze najít některé výjimky v podobě špičkových zařízení s cenami v řádech 10 000 EUR, nicméně i s nepříliš vysokým rozpočtem lze dosáhnout zajímavých výsledků. Limitujícím faktorem jsou tak dnes především ceny licencí, které mohou snadno přesáhnout cenu za HW. Nicméně rozvoj a rozšiřování VR technologií otevírá dveře i dalším SW projektům s tímto zaměřením. Do budoucna tak nelze vyloučit snížení cen na podstatně přijatelnější úroveň.

Informace o systému VRUT byly sdíleny s laskavým souhlasem společnosti Škoda Auto a.s.



Literatura

- [1] Stereopsis. Online. Wikipedia. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Stereopsis>. [citováno 2025-06-19]
- [2] Stereopsis and Tests for Stereopsis. Online. EyeWiki. Dostupné z: https://eyewiki.org/Stereopsis_and_Tests_for_Stereopsis. [citováno 2025-07-20]
- [3] Future Technology. *Speciální projekční systémy. VR Cave a 3D VR Cave – Cave Automatic Virtual Environment*. Online. Dostupné z: <https://www.futuretechnology.cz/nase-sluzby/specialni-projekcni-systemy/>. [citováno 2025-07-20]
- [4] FRIDRICHOVSKÝ, T., ZÍKA, J. Virtuální realita ve výuce kolejových vozidel na Fakultě strojní, ČVUT. In: *Současné problémy v kolejových vozidlech – PRORAIL 2023: XXVI. mezinárodní konference, zborník prednášok, diel I*. Žilina: VTS pri ŽU v Žiline, 2023, s. 121–128. ISBN 978-80-89276-61-5.
- [5] Fakulta strojní ČVUT v Praze. *Virtuální prohlídka Fakulty strojní ČVUT v Praze*. Online. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/aktuality/1539-212/a-href=https-vr-fs-cvut-cz-target-blank-virtualni-prohlidka-fakulty-strojni-cvut-v-praze-a/>. [citováno 2025-07-28]
- [6] KYBA, V., MÍŠEK, A., et al. *Dokumentace aplikace VRUT*. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická a Škoda-auto a.s., 2010.
- [7] Interní výukové materiály spol. Škoda Auto a.s.

Zasláno / received: 23. 06. 2025, přijato / accepted: 31. 07. 2025, publikováno / published: 17. 09. 2025.

Príspevek recenzovali / The paper was reviewed by: Ing. Jiří Pohl (Siemens Mobility, s.r.o.), doc. Ing. Jan Chocholáč, Ph.D. (Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera).