

Univerzita Karlova v Praze
Pedagogická fakulta

Využití prostředků rozšířené reality
v oblasti vzdělávání

Mgr. Tomáš Jeřábek

Katedra informačních technologií a technické výchovy

Školitel: doc. PhDr. Vladimír Rambousek, CSc.

Studijní program: Pedagogika

Studijní obor: Pedagogika

2014

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma Využití prostředků rozšířené reality v oblasti vzdělávání vypracoval pod vedením školitele samostatně za použití v práci uvedených pramenů a literatury. Dále prohlašuji, že tato disertační práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Datum: 29. 4. 2014

.....

podpis

Poděkování

Děkuji doc. PhDr. Vladimíru Rambouskovi, CSc. za odborné a motivující vedení při vypracování této disertační práce.

NÁZEV:

Využití prostředků rozšířené reality v oblasti vzdělávání

AUTOR:

Mgr. Tomáš Jeřábek

KATEDRA

Katedra informačních technologií a technické výchovy

ŠKOLITEL:

Školitel: doc. PhDr. Vladimír Rambousek, CSc.

ABSTRAKT:

Předmětem disertační práce je zkoumání fenoménu rozšířené reality pojímané v kontextu didaktiky. Práce usiluje o vymezení rozšířené reality v oblasti pojmové i obsahové a její snahou je především poznat roli rozšířené reality v rámci systému technických výukových prostředků a vymežit její funkční specifika a možnosti z hlediska didaktiky. Práce vymezuje rozšířenou realitu jako technologicko-percepční koncept a stanovuje strukturu percepčních, technologických a rezultatových hledisek, která odrážejí významné parametry rozšířené reality pro dané oblasti. Práce dále zkoumá didaktická specifika rozšířené reality, definuje hlavní možné didaktické záměry pro její využití a vytváří strukturu systémů rozšířené reality z hlediska organizace výuky. S podporou empirického šetření práce definuje didaktické vlastnosti a specifika rozšířené reality v roli technického výukového prostředku. Svým pojetím představuje práce komplexní studii nahlízející na rozšířenou realitu z různých pohledů a směrů ve vztahu ke vzdělávání, ze které je možné vycházet při dalších konkrétnějších výzkumných záměrech vztahujících se k problematice využití rozšířené reality ve vzdělávání.

KLÍČOVÁ SLOVA:

vzdělávání, rozšířená realita, didaktické prostředky, didaktická specifika rozšířené reality, technologická a percepční hlediska rozšířené reality

TITLE:

Use of Augmented Reality in Education

AUTHOR:

Mgr. Tomáš Jeřábek

DEPARTMENT:

Department of Information Technology and Technical Education

SUPERVISOR:

doc. PhDr. Vladimír Rambousek, CSc.

ABSTRACT:

This thesis deals with phenomena of augmented reality in context of didactics. The thesis aims to define augmented reality in conceptual and content area and focuses on augmented reality in the structure of educational tools and identification of its functions and use from the didactical standpoint. The thesis characterizes augmented reality as a specific technological-perceptual concept and establishes a system of perceptual, technological and resulting aspects that reflect important parameters of augmented reality. The thesis also examines the didactic specifics of augmented reality, defines the main possible didactic intentions for its use and establishes a structure of augmented reality systems in terms of teaching forms. Thesis defines didactic qualities and specifics of augmented reality as a technical educational tool with the support of empirical research. The concept of the thesis represents a comprehensive study of augmented reality from different perspectives and standpoints related to education and it can be understood as a base for other more specific research projects related to the issue of the use of augmented reality in education.

KEYWORDS:

education, augmented reality, educational tools, didactical aspects of augmented reality, technological and perceptual properties of augmented reality

Obsah

1 Úvod.....	8
2 Vymezení výzkumného pole a cílů práce.....	12
2.1 Výzkumný problém.....	13
2.2 Cíle a úkoly práce	14
2.3 Metodologie výzkumu	14
3 Vymezení rozšířené reality a jejích didakticko-technických specifik.....	16
3.1 Výchozí pojmy pro oblast rozšířené reality	16
3.1.1 Realita.....	16
3.1.2 Virtualita a virtuální realita.....	17
3.1.3 Smíšená realita a virtuální kontinuum.....	23
3.1.4 Rozšířená realita	26
3.2 Význam percepčních oblastí pro rozšířenou realitu.....	32
3.2.1 Percepční hlediska rozšířené reality	34
3.3 Funkčně-technologické aspekty rozšířené reality	37
3.3.1 Technologické hledisko	37
3.3.2 Výsledkové hledisko rozšířené reality.....	43
3.4 Kategorizace rozšířené reality na základě technologických a percepčních hledisek.....	47
3.4.1 Technologické koncepty rozšířené reality a jejich klasifikace	48
3.5 Didaktická specifika rozšířené reality.....	69
3.5.1 Didaktická specifika z hlediska technologických aspektů rozšířené reality.....	76
3.5.2 Systémy rozšířené reality z hlediska organizace výuky	83
4 Výzkumné šetření	91
4.1 Dotazníkové šetření mezi experty.....	92
4.1.1 Realizace dotazníkového šetření mezi experty.....	92
4.1.2 Výsledky dotazníkového šetření mezi experty.....	93

4.2	Dotazníkové šetření mezi pedagogy	97
4.2.1	Realizace dotazníkového šetření mezi pedagogy	98
4.2.2	Výsledky dotazníkového šetření mezi pedagogy	99
4.3	Výzkumný projekt.....	102
4.3.1	Přípravná fáze výzkumného projektu	103
4.3.2	Použité výzkumné metody.....	104
4.3.3	Realizace a vyhodnocení výzkumného projektu	105
5	Závěr	115
6	Použitá literatura a prameny	122
7	Seznam obrázků	128
8	Seznam tabulek	130
9	Přílohy práce	131
	Příloha A Webový formulář pro dotazníkové šetření mezi experty.....	131
	Příloha B E-mail účastníkům dotazníkového šetření mezi experty	132
	Příloha C Ukázka rozšířené reality pro účastníky dotazníkového šetření mezi pedagogy ..	133
	Příloha D Webový formulář pro dotazníkové šetření mezi experty.....	134
	Příloha E E-mail účastníkům dotazníkového šetření mezi pedagogy	135
	Příloha F Záznamový arch pozorování.....	136
	Příloha G Preferenční dotazník	137

1 Úvod

Předmětem disertační práce je zkoumání fenoménu rozšířené reality pojímané v kontextu didaktiky, resp. didaktiky informační a technické výchovy. Rozšířenou realitu (AR - z anglického termínu *augmented reality*) je možno považovat za specifickou inovativní technologii či technologiemi navozené percepční prostředí založené na kombinaci percipovaného reálného prostředí a přidaných, počítačem vygenerovaných, prvků.^{1, 2} V laboratorních podmínkách, resp. na experimentální bázi jsou tyto technologie vyvíjeny již od devadesátých let minulého století. V poslední době však lze vzhledem k technologickému rozvoji zaznamenat narůstající četnost publikací, projektů, experimentů a dalších aktivit vztahujících se k různým oblastem lidské činnosti včetně vzdělávání, které se snaží rozšířenou realitu vědecky uchopit nebo aplikačně využít. Tyto aktivity jsou přitom značně technologicky i aplikačně heterogenní, což podporuje i skutečnost, že rozšířená realita není dosud jednoznačně pojmově definovaná a obsahově vymezená. Navíc se většina realizovaných výzkumů a projektů, s výjimkou technicky orientovaných studií, zaměřuje na konkrétní technologicko-funkční řešení a jeho komparaci s jinými technologickými přístupy, přičemž výstupy těchto výzkumů a projektů nepřinášejí obecně orientované závěry. Disertační práce tak v daném kontextu a v situaci zvyšující se dostupnosti základních technologií vychází z potřeby hlubšího pojmového i obsahového vymezení rozšířené reality v kontextu vzdělávání a současně z předpokladu, že AR může jako inovativní didaktický prostředek přispět k zefektivnění a zkvalitnění edukačních aktivit a k rozvoji pedagogiky ve smyslu obohacení systému didaktických prostředků a jejich funkcí. Tento předpoklad je založen na vlastnostech rozšířené reality, která díky propojení reálné skutečnosti s virtuálními prvky, jejichž vztah může nabývat různých podob, může vytvářet specificky informačně obsažnější prostředí a rovněž poskytovat rozdílné úrovně mediality při přenosu daných informací různými percepčními kanály s využitím vhodných forem interakce vnímajícího s daným obsahem.

Rozšířenou realitu je přes zmíněnou nejednotnost přístupů dnes již možno považovat za významný fenomén, který prostupuje do řady oblastí lidské činnosti, především pak marketingu, reklamy či zábavního průmyslu v podobě platformy, prostředí či konkrétní aplikace hlavně ve spojení s moderními přenosnými tzv. „smart“ zařízeními. V poslední době je možné rovněž registrovat nárůst implementací rozšířené reality do vzdělávacích aktivit a projektů, což podporuje shora

¹ AZUMA, Ronald T. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6 [online]. 1997 [cit. 2013-09-03]. Dostupné z: <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>.

² MILGRAM, Paul. Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telemanipulator and Telepresence Technologies*. SPIE Vol. 2351, 1994, Bellingham. [online] Dostupné z: http://wiki.commres.org/pds/Project_7eNrf2010/_5.pdf.

uvedený předpoklad o didaktickém potenciálu tohoto konceptu. Důvodem této skutečnosti může být řada technologických, funkčních či didaktických faktorů a specifíků, které určitým způsobem vymezují rozšířenou realitu vůči ostatním informačním a komunikačním technologiím a v jistých didaktických situacích ji zvyhodňují. V tomto kontextu se jeví potřeba podrobit zkoumání například informační dimenzi rozšířené reality, resp. formu informačního obohacení vnímaného prostředí, dále formy interaktivity, dopad rozšířené reality na percepční procesy vnímajícího, vztah a souvislosti přidaných digitálních prvků s konkrétními prvky reálného prostředí či schopnost rozlišování a uvědomění si hranice mezi skutečným prostředím a přidanými digitálními prvky. Zmíněné aspekty staví problematiku vymezení rozšířené reality též do roviny psychologické, fyziologické i filozofické a zdůrazňují potřebu bližšího zkoumání specifíků rozšířené reality v oblasti kognitivní psychologie a dalších disciplín tak, aby mohla být AR plně zakotvena do stávající struktury didaktických prostředků.

První vědecké studie a výzkumy v oblasti rozšířené reality, které se staly základem pro další vědecká bádání v dané oblasti, se objevují v devadesátých letech minulého století, a to zejména díky technickému pokroku ve sféře snímacích a zobrazovacích zařízení a analýzy obrazu, na což je zaměřena převážná část výzkumů z této doby. V návaznosti na tato technická bádání se objevují rovněž výzkumy v rovině aplikační v oblasti psychologie a v oblasti vzdělávání (např. Bajura³, Bottecchia⁴, Botella⁵, Hughes⁶). Vzhledem k finanční a technické náročnosti AR systémů se výzkumy uskutečňovaly především v laboratorních podmínkách a jejich výstupy nepřesáhly do edukační praxe. S rozvojem nových technologií, zejména přenosných mobilních zařízení disponujících relativně kvalitním snímacím i zobrazovacím aparátem, a jejich poměrně lehkou dostupností se otevírá nový pohled na využití AR systémů a aplikací ve vzdělávání, resp. reálná možnost tyto systémy zařadit do edukačního procesu. Tento předpoklad podporuje též stanovisko expertů futurologické studie Horizon report⁷, podle nichž začne hrát AR v oblasti technologií a práce s informacemi pro nadcházející období velmi významnou roli.

Disertační práce nahlíží na rozšířenou realitu jako na inovativní technický výukový prostředek v širokém spektru možných využití od jednoduché učební pomůcky až po komplexní edukační

³ BAJURA, Michael. Merging Virtual Objects with the Real World: Seeing Ultrasound Imagery within the Patient. *Computer Graphics*, 26, 2, červen 1992. [online] Dostupné z: <http://cs.iupui.edu/~tuceryan/pdf-repository/bajura-siggraph-92.pdf>.

⁴ BOTTECCHIA, Sébastien. T.A.C: Augmented Reality System for Collaborative Tele-Assistance in the Field of Maintenance through Internet. *Augmented Human Conference*. April 2-3, 2010, Megève, Francie.

⁵ BOTELLA, Christina. Treating Cockroach Phobia With Augmented Reality. *Behavior Therapy*, 41 (3), 2010, s. 401-413.

⁶ HUGHES, Charles E., et al. Mixed Reality in Education, Entertainment, and Training. *Moving Mixed Reality into the Real World*, 2005. s. 24 – 30.

⁷ JOHNSON, Larry. et al. *The 2011 Horizon Report*. Austin, Texas: The New Media Consortium, 2011. ISBN 978-0-9828290-5-9. [online]. Dostupné z: <http://net.educause.edu/ir/library/pdf/HR2011.pdf>.

prostředí realizované mnoha rozličnými technickými prostředky, jež může být vhodným prostorem pro zefektivnění kognitivních procesů v různých vzdělávacích oblastech. Práce usiluje o vymezení rozšířené reality v oblasti pojmové i obsahové. Snaží se vymezit její roli mezi technickými výukovými prostředky, stanovit její funkční specifika a možnosti z hlediska didaktiky, resp. didaktiky technické a informační výchovy a usiluje o zavedení konceptu rozšířené reality ve vzdělávání, jež by se stal východiskem pro další aktivity v dané oblasti ve sféře teoretické i aplikační.

Pojetí práce a stanovení výzkumného problému vychází z úvah nad podstatou rozšířené reality v kontextu vývoje v oblasti využívání nových technologií a jejich role v sociokulturním prostředí společnosti a nad otázkou, jak didakticky uchopit fenomén rozšířené reality. Práce vychází z předpokladu, že AR má své jedinečné místo mezi technickými výukovými prostředky, neboť je technologicko-percepčním konceptem, který v určitých didaktických situacích vytváří z hlediska edukace vhodnější percepční prostředí než samo prostředí reálné na straně jedné, nebo virtuální realita na straně druhé.

Hlavní výzkumný problém, jímž se práce zabývá, se týká možnosti využití AR jako didaktického prostředku a jejího vymezení v rámci stávající struktury didaktických prostředků, resp. technických výukových prostředků. Z hlavního problému se odvíjí řada dílčích výzkumných problémů, resp. výzkumných otázek dotýkajících se především poznání specifických vlastností AR a jejich významu z hlediska využití ve výuce, resp. poznání didaktických specifík a výukových funkcí AR jako kategorie technických výukových prostředků či specifického edukačního prostředí.

Hlavním cílem práce je přispět k rozvoji pedagogiky, resp. didaktiky prostřednictvím zkoumání fenoménu rozšířené reality v kontextu didaktických prostředků a technologických vzdělávacích prostředí. Ze stanovených výzkumných problémů práce se generují dílčí cíle a úkoly rozvíjející cíl hlavní, jež se zaměřují na danou problematiku z pohledu technologického, psychologického, fyziologického a didaktického. Jedná se zde především o deskripci technologicko-funkčních vlastností a specifík rozšířené reality, její vymezení v rámci virtuálního kontinua z pohledu technologického a psychologicko-fyziologického, dále identifikování didaktických specifík rozšířené reality v kontextu didaktických prostředků, stanovení systému třídících kritérií pro technologická řešení a didaktická využití rozšířené reality a generování systému didaktických aspektů aplikace rozšířené reality ve vzdělávání.

Práce je pojatá jako teoretická studie s podporou empirického výzkumu, z čehož se odvozuje i její struktura. Pro naplnění formulovaných cílů a úkolů práce jsou užity metody odpovídající povaze práce, tedy metody teoretické a empirické. Ze skupiny metod teoretických to jsou metody analytické a syntetické, založené na studiu odborné literatury, se záměrem analyzovat fenomén

rozšířené reality z pohledu technologického, psychologického, fyziologického a didaktického. Jedná se zejména o obsahové analýzy, komparace a reinterpretace jak primárních pramenů, tak pramenů sekundárních, dále o metody indukce a abstrakce vycházející z dílčích uskutečněných studií a výzkumných projektů v dané oblasti. Teoretická část slouží ke zmapování současného stavu poznání v oblasti výzkumu. Snaží se vymezit rozšířenou realitu v kontextu výše zmíněných pohledů zkoumání, definovat stěžejní funkční a didaktická specifika a rozpracovat teoretický koncept rozšířené reality ve struktuře technických výukových prostředků a edukačních prostředí. Současně poslouží jako podklad pro řešení výzkumných problémů a vyvození příslušných závěrů celé práce a stane se tak vodítkem pro koncipování a aplikace empirických výzkumných metod.

Ve skupině empirických metod se jedná především o metody kvalitativní. Část empirická doplňuje výsledky teoretické části a popisuje kvalitativní výzkumné šetření zaměřené na možnosti didaktického využití rozšířené reality. Práce počítá s použitím rozhovorů a dotazníkových šetření, jejichž respondenty budou pedagogičtí pracovníci a technologičtí experti z dané oblasti, a s využitím případové studie. Výstupy empirické části výzkumu, resp. jejich interpretace spolu s metodami teoretickými usiluje o získání podkladů pro vyvození potřebných závěrů, resp. vyřešení stanovených výzkumných problémů práce.

Práce ve své podobě předpokládá rozpracování teoretického konceptu didaktického využití rozšířené reality ve formě technického výukového prostředku v rozličných pojetích. Usiluje o elaborování ucelené studie dané oblasti z různých hledisek, jež úzce souvisejí s oblastí pedagogiky, didaktiky, psychologie a informatiky. Snaží se nalézt vhodné didaktické koncepty pro další vývoj výukově zaměřených systémů a aplikací rozšířené reality a jejich implementace do procesu vzdělávání a o hlubší rozkrytí tohoto fenoménu v kontextu výše zmíněných oblastí a hledisek pro další možné výzkumy na úrovni teoretické i aplikační.

2 Vymezení výzkumného pole a cílů práce

Rozšířená realita je obecně charakterizována jako technologie, která přidává grafické, zvukové a další virtuální prvky do percipované skutečnosti (např. Gartner⁸), resp. využívá princip propojení reálného prostředí a digitálních informací ve formě počítačem vygenerovaných prvků. Tento princip je přitom realizován mnoha způsoby, nejrůznějšími technickými prostředky a ze své podstaty může být uskutečňován skrze všechny percepční kanály současně nebo samostatně. Ačkoliv je rozšířená realita uvažována jako technologie, v širším kontextu se jedná spíše o technologicko-percepční koncept, který zahrnuje rovinu technologickou, percepční a informační.

Pojem *rozšířená realita* vychází z anglického termínu *augmented reality*, který obsahově odpovídá svému českému ekvivalentu a výše uvedené definici. Vedle termínu *augmented reality* se v odborné literatuře vyskytují další označení a související termíny, například *enhanced reality*, *mixed reality* či *augmented virtuality*. Terminologie a vzájemná vymezení těchto pojmů značně diverzifikují v závislosti na autorech i na samotné oblasti, v jejímž kontextu jsou zmiňovány. Samotná rozličnost v pojmech a pojetích rozšířené reality naznačuje, že existuje též celá řada forem a technologicko-funkčních řešení rozšířené reality, jež mají různou podobu, různé poslání a uplatnění a pro něž chybí hlubší společné vymezení.

Z hlediska vzájemného vymezení některých výše uvedených pojmů je zajímavý především Milgramův koncept virtuálního kontinua⁹, na němž autor dokumentuje míru a způsob obohacení vnímaného reálného prostředí digitálními informacemi. Pro vyjádření poměru informací percipovaných z reálného prostředí a informací digitálních se nabízí široká škála tzv. smíšené reality, od formy s minimálním množstvím přidaných digitálních informací, které vnímající nemusí téměř zaznamenat, až po pojetí hraničící s virtuálním prostředím, kde se vlastní reálné prostředí prakticky vytrácí. Milgram v rámci virtuálního kontinua vymezuje oblast smíšené reality, rozšířené reality i rozšířené virtuality, čímž se snaží tato prostředí, resp. pojmy uvést do vzájemných vztahů.¹⁰

Jak již bylo naznačeno v úvodu práce, v současné době lze registrovat opětovný zájem o rozšířenou realitu v různých aplikačních oblastech včetně vzdělávání. V této sféře se však jedná převážně o pilotní nasazení a experimenty v rámci výzkumných studií a projektů. V dané souvislosti je AR často nahlížena či zkoumána v kontextu sledování jiných výzkumných cílů, tedy ne jako primární

⁸ Gartner IT Glossary: Augmented reality. *Gartner* [online]. [cit. 2013-08-04]. Dostupné z: <http://www.gartner.com/it-glossary/augmented-reality-ar>.

⁹ Termín *virtuálním kontinuum* je blíže popsán v kapitole Smíšená realita a virtuální kontinuum.

¹⁰ MILGRAM, Paul. Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telemanipulator and Telepresence Technologies*. SPIE Vol. 2351, 1994, Bellingham. [online] Dostupné z: http://wiki.commres.org/pds/Project_7eNrf2010/_5.pdf.

předmět výzkumu, a bez širšího zasazení do komplexněji vydefinovaného strukturálního rámce. Způsob jejího využití, resp. nasazení v rámci daných studií se přitom velmi liší a nabývá různých forem od vygenerovaných počítačových modelů bez bližší vazby na okolní prostředí (například 3D modelování v prostoru), přes obohacení reálného prostředí digitálními informacemi v podobě řídicích instrukcí při manipulaci s reálnými objekty, nahrazení určitého reálného objektu vygenerovaným počítačovým modelem s vyšší edukační hodnotou až po strategicky propracovaný výukový projekt, kde je AR základem daného edukačního prostředí.

Hlavním výzkumným polem předkládané práce je koncept rozšířené reality z hlediska pedagogiky a jeho významu pro vzdělávání, resp. rozšířená realita pojímaná jako inovativní technický výukový prostředek. Konkrétně se jedná o zkoumání fenoménu rozšířené reality z pohledu technologického, percepčního a didaktického. Práce podrobuje bližšímu zkoumání terminologické zakotvení rozšířené reality v rámci technických prostředků, resp. její pojmové a obsahové vymezení v kontextu smíšené reality, virtuální reality a dalších technologicko-percepčních konceptů. Dále práce zkoumá technologické aspekty rozšířené reality a její percepční charakteristiky, které spolu s informačním významem tohoto fenoménu uchopuje z hlediska kognitivní psychologie, fyziologie a informatiky.

2.1 Výzkumný problém

Hlavní výzkumný problém, jímž se práce zabývá, se dotýká didaktického potenciálu, možností a forem využití rozšířené reality ve vzdělávání. Lze jej formulovat do otázky, zda může být využití rozšířené reality v edukačním procesu v roli technického výukového prostředku přínosem pro vzdělávání, zda je vůbec možné považovat rozšířenou realitu za inovativní technický výukový prostředek a pokud ano, jakou roli zaujímá v rámci struktury technických výukových prostředků. Z hlavního problému vyvstávají dílčí výzkumné problémy, jež jsou důležité pro vyřešení hlavního problému a jež je možné formulovat do následujících otázek.

- P1. Jak lze definovat rozšířenou realitu a vymežit ji vůči realitě na straně jedné a virtuální realitě, resp. dalším podobným technologiím či konceptům na straně druhé?
- P2. Jakými technologickými a funkčními vlastnostmi jsou charakterizovány systémy rozšířené reality?
- P3. Jakými percepčními vlastnostmi jsou charakterizovány systémy rozšířené reality a jak probíhá v rámci rozšířené reality způsob zpracování vnímaného obsahu?
- P4. Jaký význam má kombinování skutečného prostředí s digitálními informacemi pro informační hodnotu poskytovaného obsahu v podmínkách rozšířené reality?

P5. Jaká jsou didaktická specifika rozšířené reality v roli technického výukového prostředku?

P6. Pro jaké druhy didaktických situací predisponují rozšířenou realitu její parametry a didaktická specifika?

P7. Jaké jsou výukové funkce rozšířené reality v roli technického výukového prostředku?

2.2 Cíle a úkoly práce

Za hlavní cíl si práce klade přispět k rozvoji pedagogiky, resp. didaktiky prostřednictvím rozpracování teorie didaktických prostředků cestou zkoumání fenoménu rozšířené reality jako kategorie technických výukových prostředků či specifického edukačního prostředí.

Ze stanovených dílčích problémů práce se generují dílčí cíle rozvíjející cíl hlavní, jež se zaměřují na daný problém z pohledu didaktického, psychologického, fyziologického a technologického. Hlavní cíl lze pak redefinovat do následujících dílčích cílů:

C1. Definovat rozšířenou realitu v pojmové i obsahové oblasti, deskribovat její teoretická východiska a vymezit daný technologický koncept vůči reálnému prostředí a vůči virtuální realitě, resp. dalším blízkým konceptům.

C2. Komparací systémů rozšířené reality rozkrýt technologické a funkční vlastností a specifika dané oblasti prostředků.

C3. Analyzovat systémy rozšířené reality z hlediska jejich percepčních vlastností a způsobů zpracování vnímaného obsahu.

C4. Charakterizovat význam kombinování skutečného prostředí s virtuálními prvky pro informační hodnotu poskytovaného obsahu v podmínkách rozšířené reality.

C5. Vymezit systém didaktických specifík a parametrů charakterizujících rozšířenou realitu v kontextu didaktických prostředků.

C6. Stanovit druhy didaktických situací, pro které predisponují rozšířenou realitu její parametry a didaktická specifika.

C7. Definovat výukové funkce rozšířené reality v roli technického výukového prostředku.

2.3 Metodologie výzkumu

Pro dosažení výše stanovených cílů práce budou použity metody teoretické a empirické. Hlavní teoretická fáze výzkumu se zaměřuje na rozšířenou realitu jako na technologický a didaktický koncept se záměrem definovat rozšířenou realitu v pojmové i obsahové oblasti, vymezit ji vůči pólům virtuálního kontinua, resp. relevantním technologickým konceptům a stanovit její

technologické a funkční vlastnosti a specifika. Tyto výzkumné aktivity se budou zakládat na studiu primárních i sekundárních pramenů, jejich analýze, interpretaci a komparaci. Konkrétně se zde bude jednat o aktivity ve směru naplnění cílů práce C1 a C2. Aplikovány budou též komparativní analýzy technologicko-funkčních možností rozšířené reality a induktivně-deduktivní metody ke zjištění fyziologického a psychologického významu rozšířené reality pro oblast vnímání a zpracování informací, které budou podpořeny analýzou zejména primárních zdrojů z oblasti kognitivní psychologie a fyziologie lidského vnímání. Uvedené metody budou aplikovány především pro naplnění cílů C3, C4 a částečně C5, C6 a C7.

V empirické fázi výzkumu bude snahou přispět k naplnění cílů práce C4 až C7 pomocí komplexního výzkumného šetření rozděleného na dvě etapy. V první etapě, která bude usilovat o příspěvek k naplnění cílů C5, C6 a C7, bude realizován výzkum s použitím kvalitativně pojatých dotazníkových šetření mezi pedagogy z praxe a mezi experty z oblasti vývoje, historie a aplikace rozšířené reality.

Výstupy této etapy umožní koncipovat empirický výzkumný projekt, který bude usilovat o příspěvek k naplnění cílů C4, C5 a C6. Výzkumný projekt bude realizován formou deskriptivní případové studie¹¹ zkoumající vybrané případy nasazení vybraných aplikačních řešení rozšířené reality do výukové praxe v rámci adekvátních učebních celků. Nasazení daných řešení bude realizováno podle modelu pro-aktivního akčního výzkumu¹², který bude iniciován výzkumníkem a zabezpečený pedagogem s technickou podporou výzkumníka. Bude probíhat na úrovni vybrané třídy základní školy po dobu jednoho školního pololetí a jeho účastníky budou žáci a konkrétní vyučující dané třídy. Případová studie se ve svém zkoumání zaměří především na jevy související s nasazením rozšířené reality z didaktického hlediska a na postoje zúčastněných k tomuto fenoménu, zejména pak na reflexi učitele k nasazení rozšířené reality do výuky a jeho názor na konkrétní aplikační řešení, u žáků pak např. na působení rozšířené reality na ně samotné na úrovni motivační. V rámci předpokládaných metod pro sběr dat se jedná především o polostrukturované a strukturované rozhovory, zúčastněné pozorování a preferenční dotazníky, jejichž výstupy by podpořily dosažení výše stanovených výzkumných cílů.

¹¹ HENDL, Jan. *Úvod do kvalitativního výzkumu*. Praha: Karolinum, 1997. 243 s. ISBN 80-7184-549-3.

¹² NEZVALOVÁ, Danuše. Akčním výzkumem k zlepšení kvality školy. *e-Pedagogium* (on-line), 2002, roč. 2, č. 4. [cit. 2013-02-17]. ISSN 1213-7499. Dostupné z: <http://epedagog.upol.cz/eped4.2002/clanek02.htm>.

3 Vymezení rozšířené reality a jejích didakticko-technických specifik

Vzhledem k výše formulovaným cílům a úkolům se následující teoretická část práce zabývá rozšířenou realitou z hlediska pojetí, terminologického vymezení, technologicko-funkčních vlastností, percepčních charakteristik a z hlediska didaktického. Tato kapitola se konkrétně snaží o hlubší pojmové vymezení rozšířené reality v kontextu příbuzných technologických konceptů skrze jejich analýzu a vzájemné vymezení, dále o stanovení klasifikačního rámce systémů rozšířené reality na základě technologicko-funkčních, percepčních a didaktických aspektů rozšířené reality.

3.1 Výchozí pojmy pro oblast rozšířené reality

Vzhledem k tématu práce a používané terminologii v oblasti rozšířené reality je třeba za výchozí pojmy považovat i běžně užívané, resp. již zavedené, byť významově často nejednotně pojímané koncepty, na kterých rozšířená realita staví jak pojmově, tak v kontextu svého historického vývoje. Vymezení následujících pojmů je pro práci důležité z důvodu jednoznačného uchopení těchto termínů a jejich významů v rámci rozšířené reality a jí příbuzných technologií a konceptů.

3.1.1 Realita

Pojem *realita* (latinsky *realitas*) je odvozen od pojmu věc (latinsky *res*) a úzce souvisí s pojmy *svět*, *skutečnost* či *existence*. Často je danými pojmy i nahrazován. V běžném použití je termínem *realita* označováno vše, co existuje, aniž by se rozlišovalo, zda daná skutečnost existuje nezávisle na člověku či je jeho výtvořem.¹³

Oxfordský slovník naučný definuje *realitu* především jako "*opravdovou situaci a problémy, které aktuálně existují v životě v kontrastu s přáním či představou, jaký by život mohl být*", případně jako „*věc, která je aktuálně pociťována nebo vnímána oproti lidské představě*". *Reálné* pak definuje jako „*aktuálně existující a nepředpokládané či představované*“ či „*skutečné a ne falešné či umělé*“.¹⁴

Ve filozofii je možné nalézt řadu vymezení a chápání reality, které velmi diverzifikují či se vzájemně v různých filozofických směrech vylučují, a to z pohledu ontologického i epistemologického. V obecné rovině je možné nalézt dva základní filozofické modely pojetí reality, které úzce souvisí s lidským vědomím. První model popisuje realitu jako nezávislou, objektivní skutečnost, která existuje nezávisle na člověku. Druhý, který je možný označit jako subjektivní, naopak nahlíží na realitu jako na prostředí či skutečnost, kterou si člověk vytváří

¹³ PEIKOFF, Leonard. *Objektivismus: Filozofie Ayn Randové*. Přerov: Berlet Advertising & Graphic Design Pty Ltd, 2001. ISBN 0 9578399 1 X. s. 17.

¹⁴ *Oxford Advanced Learner's Dictionary*. Oxford: Oxford University Press, 2010. ISBN 978-0-19-479914-0. s. 1221, heslo Reality, real.

vlastním vědomím.

Z hlediska základní podstaty rozšířené reality, tedy informačně obohacovat percepci účastníka rozšířené reality o technologiemi přidané, resp. virtuální prvky, je vhodné nadále uvažovat termín *realita* z hlediska filozofického v jeho objektivním výkladu.

Randová, představitelka objektivistického směru ve filozofii, v této souvislosti označuje pojmem *realita* vše, co existuje nezávisle na lidském vědomí. Neomezuje realitu pouze na hmotné předměty, ale zahrnuje pod ní i další součásti vnějšího světa, např. zvuky, události, děje, předměty poznání a jiné nemateriální složky vnějšího světa.¹⁵ Z pohledu objektivismu je *realita* chápána jako svět, který existuje nezávisle na člověku a na jeho vědomí, svět, ve kterém existují přírodní zákony a zákony příčiny a účinku. Člověk, resp. jeho vědomí tento svět vnímá jako objektivní skutečnost. Takový svět zahrnuje vše, co existuje, proto nemohou existovat žádné další samostatné nadpřirozené či paralelní světy.¹⁶

Frank¹⁷ v rámci řešení otázky vztahu člověka a reality používá termín *skutečnost*. Podle něho se *skutečnost*, „*tedy to, co opravdu existuje, skládá z toho, co je člověku smyslově dáno ve struktuře vnějšího (světa) v úzkém smyslu zkušenosti.*“ Jedná se o vnímané materiální jevy v okolním prostoru a ostatní empiricky dané jevy mimo smyslové vnímání, tedy člověkem konstatované bezprostřední jevy na základě jeho poznání. Frank dále podle Kanta doplňuje toto vymezení empirické skutečnosti o formy, jež patří vlastnímu vědomí člověka a které člověk klade na příslušný smyslový materiál, čímž si v podstatě vytváří vlastní obraz skutečnosti. S cílem objektivizovat a přesněji určit to, co opravdu existuje, se dostává k užšímu pojmu *objektivní skutečnost*, kterým označuje „*svět, ve kterém žijeme, který před námi vyvstává se sobě příslušející neoddělitelnou faktickou nevyhnutelností.*“¹⁸

V rámci problematiky této práce a technologie rozšířené reality je zapotřebí uvažovat realitu rovněž v kontextu počítačových a komunikačních technologií (ICT) a informatiky, resp. virtuality a virtuální reality (VR).

3.1.2 Virtualita a virtuální realita

Pojem *virtualita*, resp. *virtuální* je vymezován jednak ve filozofickém významu, jednak v kontextu

¹⁵ PEIKOFF, Leonard. *Objektivismus: Filozofie Ayn Randové*. Přerov: Berlet Advertising & Graphic Design Pty Ltd, 2001. ISBN 0 9578399 1 X. str. 17.

¹⁶ *Objektivismus: Filozofie Ayn Randové*. [online]. [cit. 2013-02-22]. Dostupné z: <http://www.aynrand.cz/pages/intro2obj.html>.

¹⁷ FRANK, Semjon L. *Člověk a realita: Metafyzika lidského bytí*. Olomouc: Refugium Velehrad-Roma s.r.o., 2010. ISBN 978-807412-047-3. s. 38.

¹⁸ *Ibid.*, s. 40 - 41.

informatiky a ICT, kde počátky jeho vymezení jsou logicky výrazně pozdějšího data. Např. Lévy uvádí ještě význam v kontextu běžné řeči a tyto tři významy jsou hlavními, nikoliv jedinými. V běžném slova smyslu je *virtuální* chápáno jako falešné, nereálné, iluzorní, zdánlivé apod.¹⁹ Jedná se o vyjádření opaku reálného, kdy reálné představuje hmotnou skutečnost.²⁰

Ve filozofickém významu prošel pojem *virtuální* značným vývojem, často se v závislosti na jednotlivých filozofických směrech jeho výklady překrývají či navzájem vylučují. Původně se jednalo o termín ontologický; virtualita se vztahovala ke struktuře bytí. Aristoteles vysvětloval pojem *virtuální* jako něco, co existuje, ale není teď a tady, nýbrž se vyskytuje ve stavu očekávání či určité energie, která bude do hmoty teprve přetvořena.^{21, 22} V kontextu reality Aristoteles uvažuje virtuální jako potenciální ve smyslu stanuvší se aktuálním.

Deleuze²³ chápe virtuální jako jeden aspekt reality, který je ideální. Virtuální tak podle Deleuze zůstává částí reality. Heim částečně vychází z Aristotelova pojetí a charakterizuje význam pojmu *virtuální* z filozofického hlediska jednoduše jako "*ne aktuální, ale jako*", tedy opak aktuálního či určité napodobení aktuálního.²⁴

V kontextu ICT má termín virtuální rovněž několik významů. Pojem virtuální může označovat softwarové systémy, které se chovají jako hardwarové komponenty, ačkoliv se neskládají z žádných fyzických prvků (virtuální paměť, virtuální disk, virtuální server, apod.). V tomto smyslu je virtuální jednoznačným opakem reálného, fyzických prvků.^{25, 26, 27} Welsh v této souvislosti uvádí další dva možné případy užití termínu *virtuální*.²⁸ První ve spojení s internetem, konkrétně ve smyslu označení virtuálních komunit, aktivit a jevů souvisejících s internetem, on-line hrami a dalšími internetovými sociálními technologiemi (virtuální výuka, virtuální vzdělávání aj.). Druhý je úzce spjat s popisem virtuální reality jakožto specifického prostředí.

¹⁹ Např. Virtuální. ABZ.cz: *Slovník cizích slov*. [online]. [cit. 2012-09-25]. Dostupné z: <http://slovník-cizich-slov.abz.cz/web.php/slovo/virtualni>.

²⁰ LÉVY, Pierre. *Kyberkultura: zpráva pro Radu Evropy v rámci projektu "Nové technologie: kulturní spolupráce a komunikace"*. Praha: Karolinum, 2000, 229 s. ISBN 80-246-0109-5. s. 44 – 68.

²¹ Virtuality. [online]. [cit. 2012-09-29]. Dostupné z: <http://csmt.uchicago.edu/glossary2004/virtuality.htm>.

²² WELSH, Wolfgang. Virtual to begin with? *Subjektivität und Öffentlichkeit: Kulturwissenschaftliche Grundlagenprobleme virtueller Welten*. Ed. By Sandbothe, Mike; Marotzki, Winfried. [online]. Köln: Harlem, 2000. s. 25-60. [cit. 2012-07-09]. Dostupné z: <http://www2.uni-jena.de/welsch/Papers/VirtualTBW.html>.

²³ DELEUZE, Gilles. *The Actual and the Virtual. Dialogues II*. Rev. ed. New York and Chichester: Columbia UP. ISBN 0-8264-9077-8. s. 148-152.

²⁴ HEIM, Michael. *Virtual Realism*. New York: Oxford University Press, 1998, xiii, 238 s. s. 220

²⁵ Ibid.

²⁶ KENT, James. *Augmented Reality: Everything You Need to Know About Augmented Reality*. Emereo Pty Limited, 2011, 1196 s. ISBN-13 978-1743040942. s. 550.

²⁷ WELSH, Wolfgang. Virtual to begin with? *Subjektivität und Öffentlichkeit: Kulturwissenschaftliche Grundlagenprobleme virtueller Welten*. Ed. By Sandbothe, Mike; Marotzki, Winfried. [online]. Köln: Harlem, 2000. s. 25-60. [cit. 2012-07-09]. Dostupné z: <http://www2.uni-jena.de/welsch/Papers/VirtualTBW.html>.

²⁸ Ibid.

Lévy v této souvislosti uvádí rovněž tři typy virtuálního od významově nejslabšího po nejsilnější; virtuální svět ve smyslu vypočitatelnosti informace (chápáno jako vše vypočitatelné na základě uživatelské interakce a digitálních informací a modelů v počítačových zařízeních), virtuální svět ve smyslu počítačového vybavení („sdělení je prostorem pro interakci zblízka, průzkumník v něm může kontrolovat přímo svou osobní reprezentaci“) a virtuální svět v úzce technologickém smyslu („iluze senzomotorické interakce s počítačovým modelem“).²⁹

Termín *virtuální realita* je úzce spjat s počítačovými technologiemi a v tomto kontextu je také definován. Existuje mnoho definic, které charakterizují virtuální realitu a které byly stanoveny v průběhu několika dekád od 80. let 20. stol., kdy se tento termín, resp. technologie začala poprvé diskutovat.

Podle Larniera je princip virtuální reality zakotven v možnosti přebývat a sdílet představy v grafických a zvukových světech, které se vzájemně zvýrazňují.³⁰ Lévy vychází z Larniera a uvádí, že „*Virtuální realita ve svém nejsilnějším významu popisuje zvláštní druh interaktivní simulace, ve kterém má průzkumník tělesný pocit, že je ponořen do situace definované databází.*“³¹

Aukstakalnis vymezuje virtuální realitu jako „*způsob zobrazení složitých informací, manipulaci a interakci člověka s nimi prostřednictvím počítače.*“³²

V kontextu Larnierova chápání virtuální reality, které je velmi silně spojeno s technologiemi a do určité míry těmito technologiemi i limitováno, definuje Heim virtuální realitu jako imerzivní interaktivní systém založený na počítačem zpracovatelných a generovatelných informacích a charakterizuje ji třemi následujícími specifickými vlastnostmi. Heim tyto vlastnosti klade jako bezpodmínečně nutné pro zajištění plné (za předpokladu potřebné míry naplnění daných vlastností), neboli „opravdové“ virtuální reality.³³

- Imerze – podle Heima přichází od technických zařízení, které dostatečně izolují smysly jedince a tím mu navozují pocit, že se nachází na jiném místě, než ve skutečnosti je. Jinak řečeno, čím více smyslů je stimulováno virtuálním prostředím a čím je tato stimulace kvalitnější (věrnější napodobení reálných podnětů), tím vyšší je míra imerze.³⁴

²⁹ LÉVY, Pierre. *Kyberkultura: zpráva pro Radu Evropy v rámci projektu "Nové technologie: kulturní spolupráce a komunikace"*. Praha: Karolinum, 2000, 229 s. ISBN 80-246-0109-5. s. 68.

³⁰ HEIM, Michael. *Virtual Realism*. New York: Oxford University Press, 1998, xiii, 238 s. s. 16 – 17.

³¹ LÉVY, Pierre. *Kyberkultura: zpráva pro Radu Evropy v rámci projektu "Nové technologie: kulturní spolupráce a komunikace"*. Praha: Karolinum, 2000, 229 s. ISBN 80-246-0109-5. s. 64.

³² AUKSTAKALNIS, Steve. *Reálně o virtuální realitě: Umění a věda virtuální reality*. Brno: JOTA, 1994. ISBN 80-85617-41-2. s. 7.

³³ HEIM, Michael. *Virtual Realism*. New York: Oxford University Press, 1998, xiii, 238 s. s. 6 – 12.

³⁴ ROUSSOU, Maria. *Immersive Interactive Virtual Reality and Informal Education. Foundation of the Hellenic World*

- Interaktivita – VR musí zajišťovat přenos a zprostředkování dat oběma směry, tedy jedince informovat o daném virtuálním prostředí a systém virtuální reality informovat o poloze a zaměření těch vjemových smyslů jedince, které jedinci zprostředkovávají danou zkušenost virtuálního prostředí.
- Informační intenzita – množství a intenzita informací, jež systém virtuální reality poskytuje jedinci o daném virtuálním prostředí v daném okamžiku. Informační intenzita umožňuje tzv. zážitek telepřítomnosti (viz níže).

Heim k obsahu termínu *virtuální realita* dodává, že význam virtuální reality v sobě zahrnuje kromě výše zmíněných vlastností umělou realitu³⁵, síťově propojená prostředí³⁶ a telepřítomnost³⁷.

Umělou realitu chápe Heim jako součást virtuální reality s odkazem na význam tohoto termínu dle Kruegera³⁸ jako počítačem kontrolované responsivní prostředí, jehož principem je vytváření přesvědčivé iluze pomocí počítačem generovaných obrazových, zvukových a jiných dat pro různé percepční kanály uživatele na základě zaznamenávání pohybu, polohy a pozice uživatele v rámci daného prostředí.³⁹ Klasickým příkladem pro vytvoření takového prostředí může být zařízení CAVE (Cave automatic virtual environment)⁴⁰. Virtuální realita oproti umělé se dle Heima vyznačuje využitím haptických rukavic, virtuálních brýlí a dalších zařízení, která zajišťují maximální imerzi.

Výše uvedená vymezení se vyznačují určitou nejednotností ve smyslu chápání virtuální reality jako prostředí, simulace, systému či technologie. Aukstakalnis v tomto kontextu označuje virtuální realitu jako rozhraní pro komunikaci člověka s počítačem.

Následující schéma (Obr. 1) se snaží zahrnout všechny tyto významy a logicky je strukturovat v rámci souhrnného termínu *virtuální realita*. VR jako prostředí je možné chápat jako výstup

[online]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.96.2700&rep=rep1&type=pdf>.

³⁵ Jedná se o gesta a úkony uživatele, resp. všech jeho smyslů a částí těla v kombinaci s generovanými (virtuálními) objekty vytvářející jedinou přítomnost.

³⁶ Umožnění existence více uživatelů v daném prostředí v jednom okamžiku.

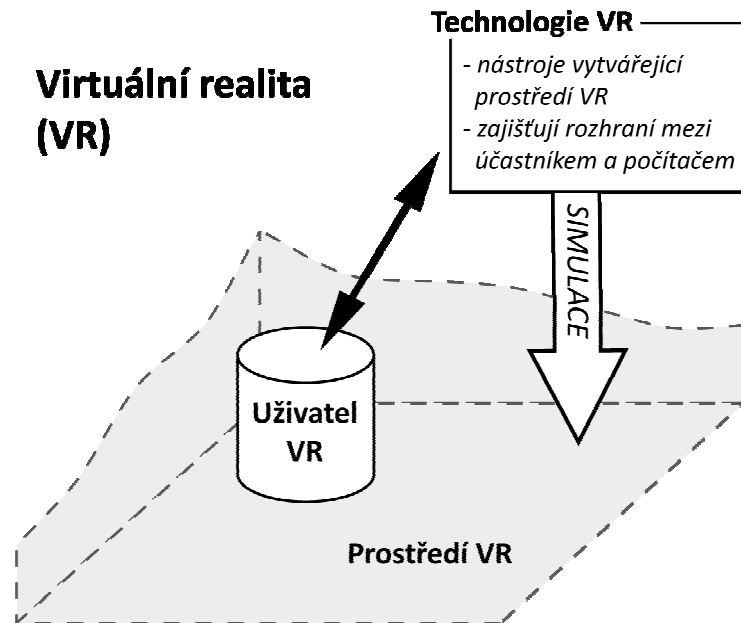
³⁷ Telepřítomnost (Telepresence) je pocit účastníka VR, že se nachází v prostředí či na místě, jež mu VR zprostředkovává. Úplná či maximální telepřítomnost nastává v okamžiku, kdy systém VR vytváří neustálou interaktivní zpětnou vazbu mezi vjemovými smysly jedince a reálným prostředím. V takovém stavu jedinec doslova cítí, že je přítomen v daném virtuálním prostředí díky možnosti ovlivňovat dění v tomto prostředí svými smysly (například pohyb paží), rovněž vnímá existenci fyzikálních zákonů či dalších vlastností zprostředkovaného prostředí, které se v takovém prostředí dají předpokládat. Je zřejmé, že míra telepřítomnosti je přímo závislá nejen na míře informační intenzity, ale rovněž, a to významně, na interaktivitě daného systému. (HEIM, Michael. *Virtual Realism*. New York: Oxford University Press, 1998, xiii, 238 s. s. 12.)

³⁸ KREUGER, Myron W. *Artificial Reality 2*. Addison-Wesley Professional, 1991, 2nd edition, 304 s. ISBN 0201522608.

³⁹ HEIM, Michael. *Virtual Realism*. New York: Oxford University Press, 1998, xiii, 238 s. s. 210.

⁴⁰ CRUZ-NEIRA, Carolina, et al. The CAVE: Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment. *Communications of the ACM*, vol. 35(6), 1992. DOI:10.1145/129888.129892. s. 64–72.

technologií virtuální reality, jež se snaží nasimulovat určité prostředí. Účastník nevstupuje do virtuální reality, ale právě do tohoto *virtuálního prostředí*, které by mělo být podle Heima imerzní, dostatečně informačně intenzivní a mělo by umožňovat interaktivitu. Aukstakalnis v souvislosti s výkladem termínu *virtuální realita* uvádí další možné označení s odkazem na současné⁴¹ publikace: *virtuální prostředí, umělá realita a cyberspace*.⁴² Ačkoliv se jednotlivá vymezení těchto termínů liší, všechny vysvětlují virtuální realitu jako určité prostředí.



Obr. 1 - Vymezení VR a jejích podsložek

Pro další používání termínu *virtuální realita* a jiných s ním spojených bude tato práce vycházet převážně ze schématu na obrázku Obr. 1.

Pro uvažování o virtuální realitě, resp. o samotném slově *realita* v rámci termínu *virtuální realita* se nejnávštěvnější jeví Frankova definice objektivní skutečnosti (viz výše). Problémem zůstává vymezení virtuální reality vůči realitě, resp. *virtuálního* vůči *reálnému*, neboť virtuální realita by mohla být uvažována jako součást reality nebo naopak jako určitá její alternativa. Předmětem této práce není podat filozofické stanovisko k této otázce, nicméně pro zasazení rozšířené reality do kontextu reality a virtuální reality, kam bezpochyby patří, bude práce vycházet z konkrétních vymezení a terminologie, které nejvíce odpovídají kontextu dané problematiky a dostatečně budou ctít filozofické i technicky pojaté výklady výše zmíněných termínů. Vzhledem k této skutečnosti a k výše uvedené pojmové struktuře virtuální reality se jeví vhodné zavedení termínu *reálné prostředí* vedle pojmu *realita*, jež bude korespondovat s částí materiálního vnějšího světa v rámci Frankova

⁴¹ Současný je vztaženo k roku 1992, době psaní citované knihy (Ibid.)

⁴² AUKSTAKALNIS, Steve. *Reálně o virtuální realitě: Umění a věda virtuální reality*. Brno: JOTA, 1994. ISBN 80-85617-41-2. s. 11.

vymezení objektivní skutečnosti a zahrnovat tu část reality, která není součástí prostředí virtuální reality. Tím se eliminuje možný diskutabilní přesah virtuální reality a reality, který vzniká v momentě, kdy účastník virtuální reality vstoupí do virtuálního prostředí a toto prostředí tak může být považováno za reálné, neboť v tu chvíli se stává aktuálním.

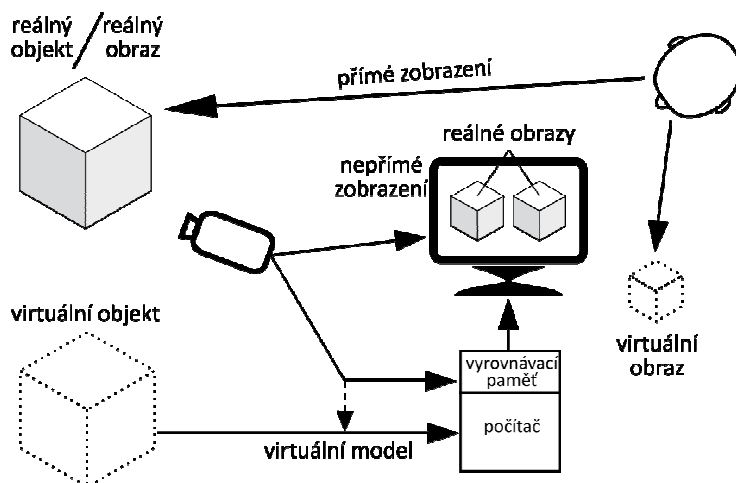
Detailněji se vymezením virtuálního vůči reálnému v kontextu VR zaobírá rovněž např. Milgram⁴³. Oddělení virtuálního od reálného definuje na základě třech aspektů, které ilustruje na zrakovém vjemu virtuálního a reálného objektu. Nutno podotknout, že Milgram se zde nezabývá filozofickou podstatou, ale řeší danou problematiku z hlediska technologicko-percepčního, resp. fyzikálního.

První rozdíl je ve skutečné fyzické materiální existenci reálného objektu, zatímco virtuální objekt existuje pouze ve formě zakódované informace či modelu, která pro svou reprodukci vyžaduje konkrétní technické zařízení. Reálný objekt tak může být nahlížen jak pomocí určité technologie (nasnímání a následné rekonstrukce dat a zobrazení, tzv. *non-direct viewing*), kdy je zprostředkován reprodukováný obraz daného objektu, tak přímým pohledem na reálný objekt bez potřeby technologií (tzv. *direct viewing*). Virtuální objekt oproti tomu může být nahlížen jen jako virtuální obraz skrze zařízení (*non-direct viewing*). To souvisí s druhým aspektem, kterým je kvalita zobrazovaného obrazu, který ani při možnostech současných technologií nedosahuje kvality reálného obrazu pozorovaného přímým pohledem (*direct viewing*). Milgram v této souvislosti zmiňuje *unmediated reality* jako standard sloužící k porovnání kvality zprostředkovaného vůči nezprostředkovanému obrazu, v rámci něhož jsou zásadní dva procesy při rekonstruování obrazu snímaného reálného prostředí či skutečnosti. Prvním (*realspace imaging*) je zobrazování vnímatelných informací nerozeznatelně od nezprostředkované skutečnosti z hlediska prostoru. Druhým (*realtime imaging*) je zobrazování vnímatelných informací v čase nerozeznatelně od nezprostředkované skutečnosti. Jedná se o skutečné zobrazení, jež probíhá v reálném čase (relativně vůči lidskému vnímání).⁴⁴ Třetí aspekt se týká optických vlastností zprostředkovaného obrazu a na jeho základě vzniklé diference vnímané a skutečné lokalizace objektu. Vnímaný obraz, resp. jeho jednotlivé body vznikají v místě průsečíku odražených světelných paprsků od referenčního objektu (v případě nepřímého zobrazení vysílaných paprsků pomocí zobrazovacího zařízení). Na tomto místě člověk lokalizuje, resp. předpokládá existenci referenčního objektu. Reálný obraz je pak jakýkoliv obraz, který vzniká pomocí odražených či vyzářovaných světelných paprsků daným objektem přesně na tom místě, kde má být lokalizován.

⁴³ MILGRAM, Paul. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, Vol E77-D, No.12, prosinec 1994. [online] Dostupné: http://etclab.mie.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html.

⁴⁴ NAIMARK, Michael. Elements of Realspace Imaging: A Proposed Taxonomy. *SPIE/SPSE Electronic Imaging Proceedings*, vol. 1457, San Jose, 1991. [online] Dostupné z: <http://www.naimark.net/writing/realspace.html>.

Vzniklý reálný obraz reflektuje referenční objekt v maximální míře vzhledem k odraženým paprskům. Virtuální obraz je naopak tvořen paprsky, které se nesetkají v daném bodě, kde je existence daného objektu předpokládána, ale vytváří se mimo (před či za tímto místem). Typickým příkladem je hologram, obrazy vzniklé pomocí astigmatického optického systému či stereoskopie, kde levý i pravý obraz je skutečný, ale výsledek vyvolaný stereoskopií je obrazem virtuálním.



Obr. 2 - Aspekty rozlišující virtualitu od reality v kontextu obrazové informace ve virtuální realitě⁴⁵

Milgramovo vymezení *reálného* koresponduje s Frankovou definicí objektivní skutečnosti, resp. částí materiálního vnějšího světa. *Virtuální* staví striktně mimo *reálné* pomocí výše zmíněných třech aspektů, s čímž jsou v souladu i termíny *reálné prostředí* a *virtuální prostředí*.

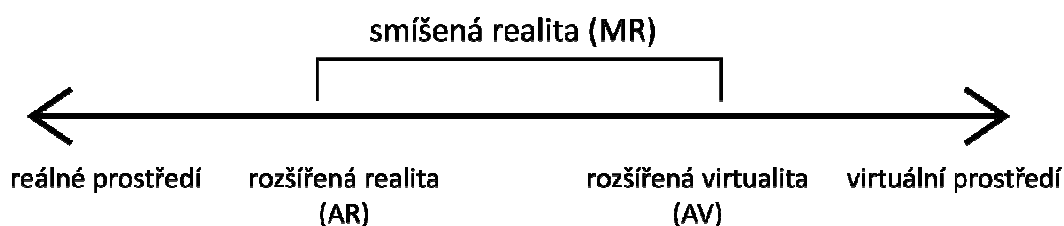
3.1.3 Smíšená realita a virtuální kontinuum

Pojem *smíšená realita* (MR – z angl. termínu *mixed reality*) představuje zastřešující termín pro prostředí, která vznikají smíšením reálného a virtuálního prostředí. MR v podstatě vytváří prostor ohraničený na jedné straně reálným prostředím, resp. prostředím s maximální mírou reálných prvků a minimální příměsí virtuálních, na straně druhé naopak významně převažují prvky virtuální. Do takto Milgramem vymezeného virtuálního kontinua (Obr. 3) je možné začlenit veškeré (v současné době známé) typy smíšených prostředí, přičemž každé prostředí se bude více či méně blížit buď na jedné straně ke skupině rozšířené reality, nebo na straně druhé, blíže k virtuálnímu prostředí, ke skupině *rozšířené virtuality*. Tyto dva hlavní typy smíšených prostředí, *rozšířená realita* a *rozšířená virtualita*, jsou podle Milgrama v podstatě vymezeny poměrem míry zastoupení levého a pravého extrému virtuálního kontinua.⁴⁶ Při bližším zkoumání jejich vzájemného vymezení není ovšem samotná míra reálných a virtuálních prvků hlavním ukazatelem rozdílu těchto prostředí. Rozšířená

⁴⁵ MILGRAM, Paul. A taxonomy of mixed reality visual displays. In *IEICE Transactions on Information Systems*, Vol E77-D, No.12 December 1994. [online] Dostupné: http://etclub.mie.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html.

⁴⁶ Ibid.

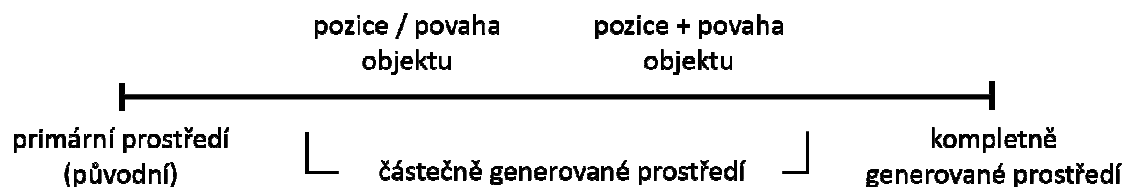
realita je založena na principu obohacení reálného prostředí, tedy reálné prostředí a jeho prvky mají řídicí úlohu pro začlenění přidaných informací. Účastník vzniklé rozšířené reality se nachází primárně ve skutečném prostředí, které i bez přidaných virtuálních prvků je stále komplexní. Zobrazení pouze samotných virtuálních prvků by naopak bylo zcela mimo kontext AR. Rozšířená virtualita naopak vychází ze zcela uměle vytvořeného světa, do kterého je účastník zasazen, a reálné prvky jsou zde přidány s cílem dodat fyzický aspekt (skutečnosti) vzniklé rozšířené virtualitě. Reálné prvky zde představují modely, samostatné objekty apod., které opět bez zasazení do virtuálního prostředí pozbývají svůj význam, který nabývají v rámci rozšířené virtuality.



Obr. 3 - Virtuální kontinuum vymežující smíšenou realitu ⁴⁷

Milgram v souvislosti s troj-dimenziální taxonomií zobrazovacích zařízení pro MR uvádí tři klíčové faktory pro jasnější vymezení nahlíženého prostředí v rámci virtuálního kontinua, konkrétně vzájemného vymezení rozšířené reality a rozšířené virtuality. První určuje, zda se jedná primárně o reálné prostředí či virtuální, tedy počítačem vytvořené, přičemž termín *primárně* je zde užit ve smyslu převahy zobrazovaných prvků daného prostředí (v případě reálných prvků přímého zobrazení i zprostředkovaného) ve výsledném obraze. Druhým faktorem je míra imerze, kterou daný zobrazovací systém smíšené reality pozorovateli zprostředkuje; třetím je pak přímost zobrazení (direct viewing – viz výše). Tyto faktory se přímo či částečně odrážejí v následujících dimenzích Milgramovy taxonomie. První dimenze (EWK) vymezuje rozsah informací o zobrazovaném prostředí ve smyslu míry dostupných informací o zobrazovaných objektech pro daný zobrazovací systém MR. Na straně levé je EWK vymezena extrémem, kde není známo nic o daném prostředí (např. přímé zobrazení, resp. percepce reálného prostředí), v druhém extrému systém naopak má plnou míru informací o zobrazovaných objektech, jsou mu známy koordináty i charakter objektů v obraze (typicky u plně virtuálně vykresleného prostředí, kdy systém dané objekty dosazuje na konkrétní požadované lokalizace).

⁴⁷ Převzato z: MILGRAM, Paul. A taxonomy of mixed reality visual displays. In *IEICE Transactions on Information Systems*, Vol E77-D, No.12, prosinec 1994. [online] Dostupné z: http://etclab.mie.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html.



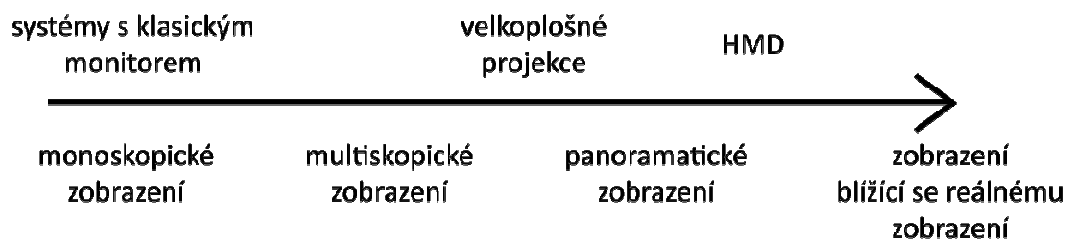
Obr. 4 - Dimenze rozsahu informací o zobrazovaném prostředí ⁴⁸

Další dimenze je *věrohodnost reprodukce*, jíž Milgram vymezuje relativní kvalitou obrazu zobrazovaných reálných či virtuálních informací, kterou systémy MR disponují.



Obr. 5 - Dimenze věrohodnosti reprodukce obrazu ⁴⁹

Poslední dimenze vyjadřuje míru „zpřítomnění se“ pozorovatele se zobrazovaným prostředím, přičemž rozsah této dimenze jde, jak uvádí Milgram, od oblasti plně imerzivních prostředí, resp. systémů, které nabízejí velkou míru zpřítomnění a většinou jsou založena na částečně polopropustných displejích, po oblast výrazně exocentrickou, kde je uživatel postaven zcela mimo vnímané prostředí a dané prostředí nahlíží s určitým odstupem.



Obr. 6 - Dimenze zpřítomnění účastníka smíšené reality ⁵⁰

Tato dimenze v podstatě reflektuje zobrazovací schopnosti systémů MR (od monoskopického zobrazení přes panoramatické zobrazení až po zcela časově, prostorově a kvalitativně realistické zobrazení) a jejich základní princip zprostředkování daného prostředí. Milgram zde částečně

⁴⁸ Převezato z: MILGRAM, Paul. A taxonomy of mixed reality visual displays. In *IEICE Transactions on Information Systems*, Vol E77-D, No.12, prosinec 1994. [online] Dostupné z: http://etclab.mie.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html.

⁴⁹ Ibid.

⁵⁰ Převezato z: MILGRAM, Paul. A taxonomy of mixed reality visual displays. In *IEICE Transactions on Information Systems*, Vol E77-D, No.12, prosinec 1994. [online] Dostupné z: http://etclab.mie.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html.

vychází z Naimarkovy taxonomie skutečného zobrazení⁵¹, kterou propojuje s konkrétními technickými řešeními (od nejjednoduššího zobrazení pomocí monitoru přes velkoplošnou projekci k HMD displejům).

3.1.4 Rozšířená realita

Koncept rozšířené reality je znám již poměrně dlouhou dobu⁵². Je možné konstatovat, že prakticky stejnou dobu jako virtuální realita, neboť počátky virtuální reality a prvních zobrazovacích zařízení virtuální reality úzce souvisí i s rozšířenou realitou. Tento předpoklad potvrzují i průběžné snahy o vymezení AR vůči VR či MR v řadě prací a publikací, které se od sebe často liší.

Někteří autoři⁵³ chápou AR jako určitou variantu VR, jiní jako její součást a další jako zcela oddělenou technologii či koncept.^{54, 55, 56} Podobně jako u virtuální reality, se vyskytují pojetí rozšířené reality jako systému, technologie, konceptu či prostředí. V obecném principu se nicméně jednotlivé definice v podstatě shodují, viz následující příklady vymezení.

„Rozšířená realita je variace virtuálních prostředí, resp. virtuální reality“.⁵⁷

„Systém rozšířené reality je systém, který vytváří obraz reálné scény začleněním počítačem generovaných virtuálních objektů do této scény, včetně trojdimenziálních. Tak, jak se účastník AR pohybuje v rámci reálné scény, virtuální objekty se vykreslují na lokacích a přesně tak, jako by aktuálně v dané scéně existovaly.“⁵⁸

„Rozšířená realita se vyznačuje přidáním počítačem vytvořené kontextové informační vrstvy do reálného světa, čímž vzniká obohacená či rozšířená realita.“⁵⁹ „Rozšířená realita je technologie, která přidává grafické, zvukové a další virtuální prvky na nahlíženou skutečnost. Vnímání elementu

⁵¹ NAIMARK, Michael. Elements of Realspace Imaging: A Proposed Taxonomy. In *SPIE/SPSE Electronic Imaging Proceedings*, vol. 1457, San Jose, 1991. [online] Dostupné z: <http://www.naimark.net/writing/realspace.html>

⁵² První významné studie v oblasti rozšířené reality je možné zaznamenat již v 90. letech 20.stol.

⁵³ AZUMA, Ronald T. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6* [online]. 1997 [cit. 2013-09-03]. Dostupné z: <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>.

⁵⁴ MILGRAM, Paul. Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In *Telem manipulator and Telepresence Technologies*. SPIE Vol. 2351, 1994, Bellingham. [online] Dostupné z: http://wiki.commres.org/pds/Project_7eNrf2010/_5.pdf.

⁵⁵ JOHNSON, Larry, et al. *The 2011 Horizon Report*. Austin, Texas: The New Media Consortium, 2011. ISBN 978-0-9828290-5-9. [online]. Dostupné z: <http://net.educause.edu/ir/library/pdf/HR2011.pdf>.

⁵⁶ MANN, Steve. *Mediated Reality*. M.I.T. M.L. Technical Report 260, Cambridge, Massachusetts, 1994.

⁵⁷ AZUMA, Ronald T. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6* [online]. 1997 [cit. 2013-09-03]. Dostupné z: <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>.

⁵⁸ VALLINO, James R. *Interactive Augmented Reality*. University of Rochester. PhD Thesis. [online] Dostupné z: <http://www.se.rit.edu/~jrv/>.

⁵⁹ JOHNSON, Larry, et al. *The 2011 Horizon Report*. Austin, Texas: The New Media Consortium, 2011. ISBN 978-0-9828290-5-9. [online]. Dostupné z: <http://net.educause.edu/ir/library/pdf/HR2011.pdf>.

skutečného prostředí odlišuje AR od VR.⁶⁰ Heim definuje AR jako „překrytí základního vizuálního pole počítačem vygenerovanými daty“.⁶¹

Na základě výše uvedeného textu, a nejen zde citovaných definicí, lze konstatovat, že princip AR spočívá ve vizuálním propojení skutečného prostředí s počítačem vygenerovanými informacemi čili virtuálními objekty, čímž vzniká nová podoba (z hlediska obsahu nových informací) původní *reality*, která je informačně bohatší než původní primární (skutečné) prostředí. Původní prostředí zde plní roli primárního zdroje informací jak pro uživatele, tak pro systém rozšířené reality a v rámci nově vzniklého prostředí většinou informačně dominuje (na rozdíl od rozšířené virtuality), často pak i vizuálně. Toto vymezení se omezuje pouze na vizuální oblast. Rozšířená realita však principiálně umožňuje využití všech smyslových oblastí: zrak, sluch, hmat, čich a chuť. Zejména čich a chuť jsou sice z pohledu technologického řešení dlouhodobě velmi složité a v současné době prakticky takřka neřešitelné oblasti AR i VR, nicméně je zapotřebí s těmito percepčními oblastmi rovněž v rámci konceptu rozšířené reality počítat.

Z hlediska obecné platnosti vymezil dosud nejvýstižněji rozšířenou realitu Azuma. Ačkoliv zde Azuma uvažuje o rozšířené realitě v rámci vizuální oblasti, svým pojetím je z hlediska percepčních oblastí i technologického řešení neutrální. Systémy rozšířené reality musí splňovat dle Azumy tři základní podmínky.⁶²

1. kombinují reálné prostředí a virtuální prvky
2. jsou interaktivní v reálném čase
3. registrují virtuální prvky v rámci 3D

První kritérium je nejzákladnější podstatou rozšířené reality a jeho předpoklad je možné nalézt v podstatě ve všech výše zmiňovaných citacích a vymezeních. Kombinací reálného prostředí a dosazených virtuálních prvků, vzniká skrze systém AR prostředí, jež se informačně liší od původního reálného prostředí a zároveň díky zachování reálného prostředí pro percepci účastníkem rozšířené reality se odlišuje od virtuální reality. *Interaktivita v reálném čase* v podstatě odpovídá svým významem a úlohou pro rozšířenou realitu vymezení v rámci virtuální reality a z hlediska tohoto kritéria se oba koncepty shodují. Schopnost systému okamžitě reagovat na změnu okolního percipovaného prostředí je nutnou podmínkou pro začleňování (umístění, změna polohy, velikosti,

⁶⁰ Gartner IT Glossary: Augmented reality. *Gartner* [online]. [cit. 2013-08-04]. Dostupné z: <http://www.gartner.com/it-glossary/augmented-reality-ar>.

⁶¹ HEIM, Michael. *Virtual Realism*. New York: Oxford University Press, 1998, xiii, 238 s. s. 210.

⁶² AZUMA, Ronald T. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6* [online]. 1997 [cit. 2013-09-03]. Dostupné z: <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>.

rotace, aj.) virtuálních prvků do kontextu této percipované reality. Poslední kritérium, *registrace v rámci 3D*, znamená, že zasazení virtuálních prvků do percipované rozšířené reality počítá s trojdimenziálním prostorem reálného prostředí, resp. systém registruje virtuální prvky do souřadnicového systému, který reflektuje trojrozměrnost okolního prostředí. Význam tohoto kritéria podtrhuje i neustálý zájem řešitelů (např. Holloway⁶³, Bajura⁶⁴, Salzmann⁶⁵) a pokrok v řešení této fáze jako jedné z nejproblematictějších technických oblastí AR systémů. Tato funkční vlastnost systémů AR zabezpečuje dodržení jakési kompatibility prostorovosti reálného prostředí a vrstvy virtuálních prvků a umožňuje navodit pocit uživatele AR, že se percipované virtuální prvky nachází na určitém místě v rámci reálného prostředí, i když jsou například zobrazovány (v případě vizuálních systémů) dvojrozměrně a v odlišné vzdálenosti, než se jeví výsledný obraz.

Těmito charakteristikami rozšířené reality mimo jiné Azuma vymezuje AR vůči technologiím jako film, využívající 3D filmové efekty či kombinování 2D grafiky a videa (např. titulky a grafika při televizním vysílání), neboť nesplňují podmínku interaktivity, resp. registrace v rámci 3D.⁶⁶

Existují další technologická řešení, která se často zařazují pod rozšířenou realitu, i když je toto začlenění přinejmenším diskutabilní, a která Azumovu vymezení na první pohled odpovídají, např. znázornění off-sidové čáry nebo grafické zvýraznění puku v ledním hokeji při televizním sportovním přenosu.⁶⁷ Předkládaná práce tyto případy nechápe jako rozšířenou realitu, a to především z hlediska významu termínu *realita*, resp. reálného prostředí a pozice účastníka v rámci rozšířené reality. Reálné prostředí je zde chápáno v kontextu výše uvedeného vymezení reality jako objektivní skutečnosti, která přímo obklopuje účastníka rozšířené reality a je jím vnímatelná i bez použití technologií rozšířené reality (tzv. přímým nahlížením). Televizní přenos zprostředkovává vzdálenou (vůči divákovi) realitu a v tomto případě se jedná o přenášený televizní trik, i když technicky využívá stejných principů jako systémy rozšířené reality.

⁶³ HOLLOWAY, Richard. *Registration Errors in Augmented Reality*. UNC Chapel Hill Department of Computer Science technical report TR95-016, 1995. [online]. Disertační práce. Dostupné z: <http://cs.iupui.edu/~tuceryan/pdf-repository/holloway-95.pdf>.

⁶⁴ BAJURA, Michael; NEUMAN, Ulrich. *Dynamic Registration Correction in Augmented-Reality Systems*. *IEEE Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS '95)*, 1995. ISBN 0-8186-7084-3/95. [online] Dostupné z: <http://cs.iupui.edu/~tuceryan/pdf-repository/bajura-vrais-95.pdf>.

⁶⁵ SALZMANN, Mathieu, et al. *Closed-Form Solution to Non-Rigid 3D Surface Registration*. [online] Dostupné z: http://cvlabwww.epfl.ch/~lepetit/papers/salzmann_eccv08.pdf.

⁶⁶ AZUMA, Ronald T. *A Survey of Augmented Reality*. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6* [online]. 1997 [cit. 2013-09-03]. Dostupné z: <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>.

⁶⁷ Off-sidová čára je z hlediska percepce diváka registrována ve 3D, systém je interaktivní (změna viditelného pole se projevuje na poloze přidané grafiky) a rovněž se jedná o kombinaci virtuálního prvku a reálného prostředí.

Vzhledem k ne zcela dostatečným výše uvedeným vymezením rozšířené reality pro účely této práce je zejména Azumovo vymezení rozpracováno do následujících kritérií, která by měla jednoznačně vyhradit rozšířenou realitu vůči ostatním technologicko-funkčním konceptům. Systémy rozšířené reality:

1. kombinují reálné prostředí obklopující účastníka s virtuálními prvky,
2. vyznačují se reaktivitou na reálné prostředí v reálném čase,⁶⁸
3. při zasazení (registraci) virtuálních prvků do percipované rozšířené reality počítají s trojdimenziálním prostorem reálného prostředí.

Vedle těchto základních technologických podmínek (vycházejících z Azumových kritérií) existují další charakteristiky, které jsou obecně platné rovněž pro příbuzné technologické koncepty jako např. virtuální realita, a tudíž se s nimi automaticky počítá. Nicméně za účelem jednoznačného vymezení rozšířené reality nejen vůči technologickým konceptům je jejich význam důležitý. V tomto kontextu je možné říci, že rozšířená realita:

4. vzniká za pomoci technického zařízení,
5. je přirozeně imerzivní prostředí.

Funkční princip rozšířené reality z hlediska technologicko-percepčního probíhá v několika na sebe navazujících procesních fázích. První fází je analýza reálného prostředí s cílem nalézt patřičný řídicí, neboli registrační prvek. Tento proces je zpravidla prováděn pravidelně několikrát za sekundu, resp. v takové frekvenci, která je dostatečná pro zabezpečení kontinuální registrace virtuálního prvku vzhledem k citlivosti daného percepčního kanálu (u zraku se počet opakování za sekundu odvíjí od snímkové frekvence zobrazení) a následnému docílení požadovaného efektu rozšířené reality v kontextu druhého kritéria systémů AR. V případě pozitivní identifikace řídicího prvku je potřeba získat potřebné informace o tomto prvku, resp. jeho pozici, poloze, orientaci, apod., které umožní následnou registraci virtuálního prvku. Tato fáze kontinuálního sběru informací v čase se označuje jako *tracking*.

Na základě takto získaných informací následuje fáze *registrace*, kdy je virtuální prvek vhodně zasazen do percipované rozšířené reality (viz 3. kritérium rozšířené reality). Další fází je možné označit za *prezentaci*, ve které dochází v závislosti na typu systému AR k zobrazení virtuálních prvků v kontextu reálného prostředí, případně rekonstrukci reálné složky se spojením s virtuálními

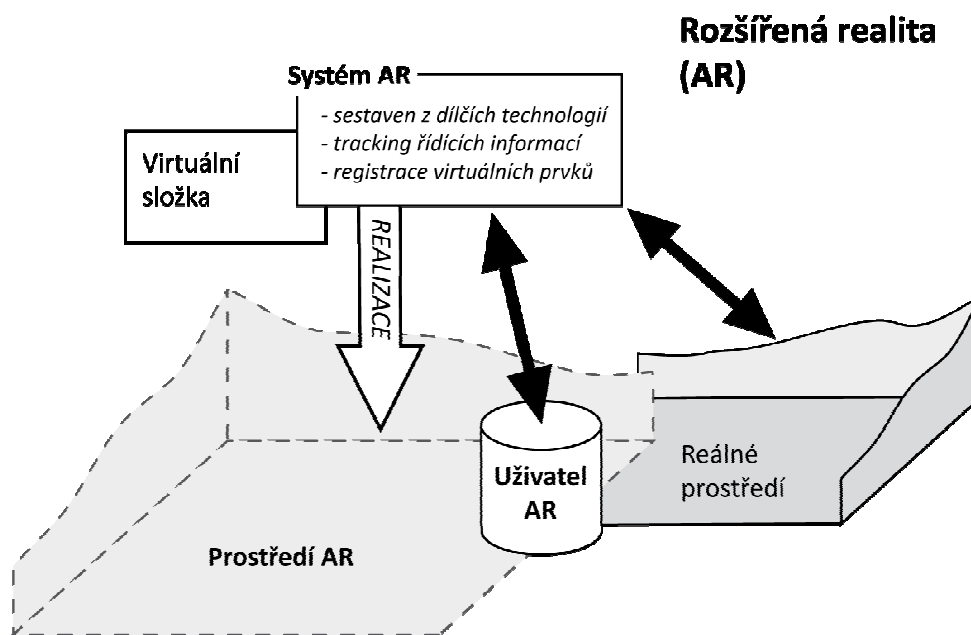
⁶⁸ V rámci technologického systému AR je reaktivita zajištěna např. pomocí tzv. trackovacího systému.

prvky a následnému zobrazení výsledné rozšířené reality. Poslední fází je percepce výsledné rozšířené reality, do které se promítá vedle schopností uživatele také kvalita prezentace.

Technická zařízení zajišťují přinejmenším fázi trackingu, registrace a prezentace virtuální složky, v některých případech pak i zprostředkovávají, resp. rekonstruují reálné prostředí.

V kontextu významu pojmu *imerze* ve spojení s virtuální realitou⁶⁹ by měla být rozšířená realita chápána jako neimerzivní prostředí, neboť technologie AR se primárně nesnaží o přesvědčení účastníka, resp. jeho smyslů, že se nachází v „jiné realitě“. Imerzivní prostředí je ovšem také vysvětlováno jako prostředí, pro které je určujícím parametrem vyvolání pocitu přítomnosti v rámci daného prostředí.⁷⁰ Pocit přítomnosti je možné dále dělit na dílčí prožitky: prostorovou, sociální či osobní přítomnost.⁷¹

Z tohoto hlediska je ve své podstatě každé prostředí rozšířené reality imerzivní, neboť účastník je „ponechán“ (minimálně sociálně i osobně) v tomto prostředí, které je mu pouze doplněno o určitá data.



Obr. 7 - Schéma vymezuje technologicko-percepční koncept rozšířené reality

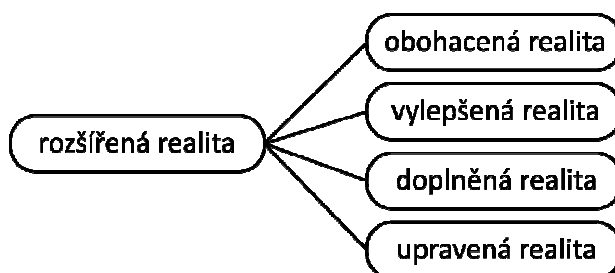
⁶⁹ Viz kapitola 3.1.2

⁷⁰ ROUSSOU, Maria. *Immersive Interactive Virtual Reality and Informal Education*. Foundation of the Hellenic World [online]. 2007, 5, [cit. 2011-06-23]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.96.2700&rep=rep1&type=pdf>.

⁷¹ TAMBORINI, Ron; SKALSKI, Paul. *Playing video games: motives, responses, and consequences*. [s.l.]: Routledge, 2006. The Role of Presence in the Experience of Electronic Games, s. 225-240. ISBN 0805853227. Dostupné z: <http://ocw.metu.edu.tr/file.php/85/ceit706/week6/Tamborini&Skalski.PDF>.

Pojmové a obsahové vymezení rozšířené reality

Ačkoliv se v pojmové oblasti pro AR již ustálil termín *rozšířená realita* (z angl. *augmented reality*), existují i další termíny, které jsou částečně ekvivalentní a v určitých konkrétních případech mohou být i vhodnější a výstižnější, např. *obohacená*, *vylepšená* či *doplněná realita*. Tyto termíny jsou nebo v minulosti byly někdy s termínem *rozšířená realita* zaměňovány. Při bližším porovnání těchto termínů se nabízí jejich vzájemné logické vymezení, neboť významově je možné termín *rozšířená realita* chápat jako zastřešující pro ostatní další termíny.

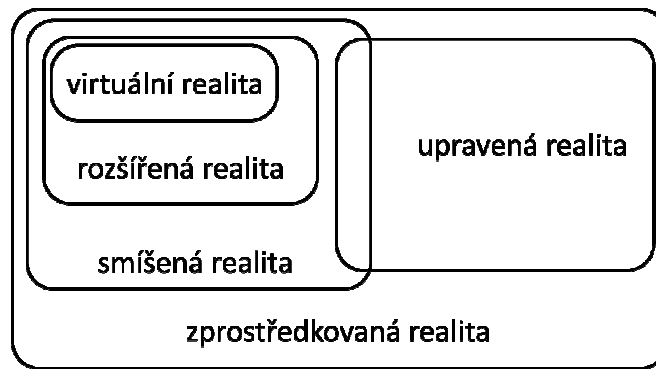


Obr. 8 – Vztah mezi termíny související s významem rozšířené reality

Oproti termínu *rozšířená realita*, který označuje obecný stav, kdy je původní (reálné) prostředí určitým způsobem rozšířeno o digitální informace, termíny *obohacená*, *doplněná*, *upravená* či *vylepšená* jsou specifitější a blíže definují vztah přidaných digitálních informací k původnímu prostředí. Vzájemnému vymezení těchto termínů se práce dále věnuje v rámci výsledkových hledisek rozšířené reality v kapitole *Povaha AR*. Práce dále pracuje s termínem *rozšířená realita*, který je z hlediska celkové deskripce zde zkoumaného fenoménu chápán jako pojem zastřešující.

Vedle Azumova vymezení rozšířené reality a Milgramova kontinua smíšené reality, které staví rozšířenou a virtuální realitu odděleně, přináší další významný pohled Mann⁷², který zasazuje AR do kontextu tzv. *zprostředkované reality* (*mediated reality*). V rámci taxonomie zprostředkované reality, ve které se snaží Mann zastřešit pojmy *smíšená*, *rozšířená* i *virtuální realita*, zařazuje virtuální realitu jako součást rozšířené reality (viz Obr. 9).

⁷² MANN, Steve. Mediated Reality with implementations for everyday life. *Presence 2002, Teleoperators and Virtual Environments*. Dostupné z: <http://wearcam.org/presence-connect/>.



Obr. 9 - Zastřešující koncept *mediated reality* pro smíšenou, rozšířenou a virtuální realitu podle Manna⁷³

Z hlediska vymezení rozšířené reality vůči všem výše zmíněným konceptům chápe práce vzájemný vztah rozšířené a virtuální reality spíše v kontextu Milgramova kontinua smíšené reality. Chápe je tedy odděleně. Zavedení termínu *zprostředkovaná realita* jako zastřešujícího termínu pro pokrytí širší oblasti technologií, které pracují na principu zprostředkovávání okolního či počítačem vygenerovaného prostředí tak, jak definuje Mann, nepovažuje práce za vhodné.

3.2 Význam percepčních oblastí pro rozšířenou realitu

Rozšířenou realitu je možné analyzovat z různých hledisek, přičemž percepční oblast, kterou AR zasahuje, je jedním z nich. Percepce je základním předpokladem (u konceptů AR používaných v současné době) pro fungování rozšířené reality, neboť bez vnímání rozšířené reality uživatelem celý koncept AR samozřejmě postrádá smysl. Systémy řeší AR z hlediska jednotlivých percepcí, případně jejich kombinací. Jedná-li se o multipercepční systém, resp. aplikaci AR, je ve většině případů nutné ze strany systému zajistit synchronizaci dat v rámci jednotlivých percepčních oblastí ve všech procesních fázích⁷⁴, aby bylo dosaženo z hlediska percepce uceleného AR prostředí.

Percepce je charakterizována jako proces, kdy je smyslová stimulace převedena do uspořádaného zážitku odpovídající danému vjemu.⁷⁵ Pro rozšířenou realitu je důležitá percepce především v rovině smyslové stimulace, resp. zachycení vnější informace smyslovými orgány. Je možné předpokládat, že fázi percepce, která následuje po fázi smyslové stimulaci, systémy AR nemohou významně ovlivnit. Z hlediska percepce se bude tedy práce dále zabývat principem přenosu informace z prostředí rozšířené reality k uživateli a její zachycení smyslovými orgány. Percepční oblasti, s nimiž pracuje rozšířená realita, souvisejí s vnímáním vnějších informací, neboť reálné

⁷³ Přejato z: MANN, Steve. *Mediated Reality with implementations for everyday life. Presence 2002, Teleoperators and Virtual Environments*. Dostupné z: <http://wearingcam.org/presence-connect/>.

⁷⁴ Hlavní procesní fáze z hlediska systémů AR jsou tracking, registrace a prezentace. Jednotlivé fáze jsou blíže specifikovány v kapitole 3.1.4.

⁷⁵ Perception, In *Encyclopædia Britannica*, Inc. *Encyclopædia Britannica* [online]. 2013 [cit. 2013-10-09]. Dostupné z: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/451015/perception>.

prostředí, které je uživateli rozšiřováno, je lokalizováno vně uživatele (viz kapitola 3.1). Jedná se tedy o oblasti vizuálního, auditivního, haptického, olfaktorického a gustativního vnímání, přičemž reálně se aplikace rozšířené reality zaměřují nejvíce na vizuální oblast, dále pak auditivní, haptickou a velmi okrajově, spíše na teoretické úrovni, oblastí olfaktorickou a gustativní.

Stanovení struktury percepčních hledisek a identifikování odlišností ve fungování systémů AR z hlediska percepce vychází hlavně z funkčního principu smyslových orgánů člověka, resp. z biofyzikální funkce daných receptorů. V tomto kontextu jsou významné především (1) lokalizace a způsob působení podnětu a (2) druh působící energie na dané receptory.

Z hlediska lokalizace a způsobu působení podnětu se exteroceptory dělí na kontaktní a distanční (telereceptory).⁷⁶ Kontaktní receptory zajišťují chuťové a hmatové vjemy, distanční pak zrakové, sluchové a čichové. Rozšířená realita (na rozdíl od virtuální reality) vyžaduje, aby veškeré vjemy generovaných virtuálních prvků uživatel vnímal v kontextu okolního prostředí a správně lokalizované⁷⁷. Systémy AR, resp. konkrétní aplikace tudíž musí zohledňovat toto hledisko. Např. při haptickém rozšíření okolního prostředí musí být zajištěn přímý kontakt uživatele s reálným objektem či místem, kterého se haptické rozšíření týká. U smyslových orgánů s telereceptory naopak může systém AR zasadit virtuální prvky (zdroje podnětů pro smyslové orgány) víceméně kamkoliv do reálného prostředí tak, aby výsledná interpretace daných podnětů vzbuzovala u uživatele dojem, že virtuální objekt je zasazen korektně do okolního prostředí. Pro vizuální oblast se tak může využívat např. metody překrývání obrazových vrstev, optických iluzí apod. U zvuku se může jednat např. o nastavení intenzity zvuku či prostorové konfigurace.

Z hlediska druhu působící energie se receptory dělí na mechanoreceptory zajišťující hmatové a zvukové vnímání, chemoreceptory pro chuť a čich a fotoreceptory pro zrak⁷⁸. Vzhledem k rozdílnému biofyzikálnímu principu jednotlivých druhů receptorů se liší i funkční principy technologií, které se zaměřují na jednotlivé formy multimediálních dat, resp. na snímání, zpracování a prezentaci dat pro jednotlivé percepční oblasti. Toto se týká zejména fáze snímání a prezentace, v rámci níž probíhá převod z jednoho druhu energie (odpovídajícímu dané percepci) na jiný (převážně elektrický) a naopak. Problematika zpracování multimediálních dat v oblasti ICT se odráží i v rozšířené realitě, hlavně v technologických řešeních systémů AR a možnostech a formách rozšíření reálného prostředí.

⁷⁶ TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. 4. přepr. a dopl. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2003, s. 559. ISBN 80-247-0512-5.

⁷⁷ Správně lokalizováno ve smyslu třetího technologického kritéria systémů AR (specifikováno na straně 24 v této práci).

⁷⁸ Mezi receptory se řadí rovněž termoreceptory, citlivé na okolní teplotu, nicméně z hlediska výše uvedených pěti základních smyslů člověka jsou pro tuto práci nepodstatné.

3.2.1 Percepční hlediska rozšířené reality

Je zřejmé, že jednotlivé percepční oblasti do značné míry určují povahu a technický princip rozšířené reality. Při vytváření klasifikačního rámce systémů rozšířené reality je na základě výše uvedeného nutné aplikovat hledisko, které reflektuje dané percepční oblasti, resp. způsob a možnosti systémů AR zasáhnout danou percepční oblast uživatele patřičnými podněty. Z tohoto percepčního hlediska je možné stanovit kritéria, která se z důvodu odlišného principu vnímání jednotlivých smyslových orgánů mohou u percepčních oblastí různit. Jak již bylo uvedeno výše, oblast gustativní a olfaktorická jsou řešeny ve spojení s rozšířenou realitou v podstatě pouze jako teoretické koncepty, tudíž se jimi práce dále nebude zabývat.

Vzhledem k dominantní pozici vizuální oblasti v rámci aplikací a systémů AR bude práce primárně analyzovat kritéria pro vizuální oblast. Charakter vizuální informace může být tedy nahlížen z následujících kritérií.

Charakter grafických dat

Charakter grafických dat reflektuje kognitivní náročnost zpracování předkládané informace uživatelem, resp. její dekódování a zpracování, a rovněž druh vizuální informace z hlediska technického zpracování či prezentace. Např. Štikar rozděluje komunikační způsoby na řeč, text, data, graf, statický obraz a pohyblivý obraz.⁷⁹ Vyjma řeči se jedná o způsoby předávání, resp. prezentace vizuálních informací, které je možné zajistit technickými prostředky. S přihlédnutím ke Štikarově rozdělení a k technickým principům prezentace informací je možné pro vizuální oblast rozdělit přidané grafické informace z hlediska svého charakteru do následujících skupin:

PH-V-CH1: Texty a znaky

PH-V-CH2: Grafika a schémata

PH-V-CH3: Realistické zobrazení

Ačkoliv z hlediska kognitivního zpracování může být pravděpodobně rozdíl při zpracování textů a znaků, zde jsou uváděny v jedné skupině, neboť se jedná o podobný typ vizuální informace a oproti skupině PH-V-CH2 jsou např. barevně nezávislé, avšak závislé na jejich orientaci v prostoru. Za znaky jsou zde považovány veškeré kódy a symboly, které mají obecně či v rámci určitého specifického oboru jednotný význam a jsou tudíž tak i interpretovány (většinou nezávisle na okolních informacích). Toto vymezení vychází z pojetí znaků dle Štikara.⁸⁰ Druhou skupinu tvoří jednoduchá základní grafika a schémata, která svůj význam nabývají především v kontextu

⁷⁹ ŠTIKAR, Jiří. *Obrazová komunikace*. Praha: Karolinum, Univerzita Karlova, 1991. ISSN 0567-8307. s. 66.

⁸⁰ *Ibid.* s. 87 – 90.

okolních vizuálních informací. Poslední skupinu tvoří realisticky zobrazené informace neboli obrazová data v podobě fotografií či filmu, kdy kvalitativní hodnota obrazu (nezávisle na barevné hloubce) je na úrovni reálného zobrazení či se tohoto stavu snaží dosáhnout.

Dynamičnost obrazu

Druhým parametrem vizuálních informací z hlediska percepce je dynamičnost obrazu. Obraz může být statický, pohyblivý či dynamický. Toto rozdělení vychází z míry pohybu obrazu v rámci daného obrazového prvku. Změna polohy či pozice obrazu v percepčním poli tudíž není považována za pohyb obrazu, neboť takovýto pohyb se týká celého prvku a nenesou sebou obrazovou změnu daného prvku.

PH-V-D1: Statický obraz

PH-V-D2: Pohyblivý obraz

PH-V-D3: Dynamický obraz

Statický obraz je jakýkoliv obrazový prvek, ve kterém neprobíhá žádná změna obrazových bodů v čase ve smyslu animace či navození iluze pohybu. Pohyblivý obraz je charakteristický změnou svých obrazových bodů z hlediska barvy a jasu v čase, kterou je možné označovat jako animaci obrazu. Jedná se např. o blikání obrazu či jednoduché grafické animace. Z hlediska percepce je nejnáročnějším typem na zpracování dynamický obraz, ve kterém je oproti případu PH-V-D2 navíc kinematografický rozměr. Dynamický obraz je chápán jako obraz měnící se v čase, přičemž tato změna představuje fázovaný pohyb typický pro kinematografický záznam obrazu. Výsledná iluze pohybu v sobě tudíž většinou nese hlubší informační hodnotu, než je tomu u případu PH-V-D2. Do této kategorie lze rovněž zahrnout animovaný film, který je chápán jako jedna z oblastí kinematografie.⁸¹

Prostorovost

Prostorovost je v rámci percepce obecně spojena zejména s hloubkou prostoru. Vnímání prostorové hloubky je komplikovaný proces, který je ovlivněn mnoha podněty. Problematice prostorového vnímání se blíže věnuje např. Prokýšek⁸², který rozděluje prostorové zobrazení na pravé a nepravé prostorové zobrazení. Za pravé prostorové zobrazení je považováno pouze takové, u něhož je navozována binokulární disparita. U nepravého prostorového zobrazení je sice rovněž docíleno

⁸¹ Blíže o problematice vymezení animace např.: KAYA, Akile N. *Užití animace v dokumentu: Analýza principů a funkcí animace ve vztahu s dokumentárním filmem*. Praha: Akademie múzických umění, 2012. Dostupné z: <http://cas.famu.cz/files/201210/121025153308.pdf>.

⁸² PROKÝŠEK, Miloš. *Didaktické aspekty využití prostorového zobrazování*. Univerzita Karlova v Praze Pedagogická fakulta, 2012. Disertační práce. Univerzita Karlova v Praze, Pedagogická fakulta, Katedra informačních technologií a technické výchovy.

iluze 3D, ovšem za využití pohybové paralaxy, resp. na základě monokulárních podnětů⁸³. V rámci charakteristiky prostorovosti dat existují tudíž tři možné varianty:

PH-V-P1: Dvojrozměrné zobrazení (2D)

PH-V-P2: Nepravé prostorové zobrazení (2,5D)

PH-V-P3: Prostorové zobrazení (3D)

Barevná informace

Hledisko barevné informace se pojí především k zobrazovacímu zařízení prezentující rozšířenou realitu či její virtuální složku. V této souvislosti lze uvažovat míru barevné informace jako hodnotu zobrazitelné barevné hloubky daného zařízení, resp. systému. Současné systémy jsou schopné ve většině případů zobrazit 24bitovou hloubku, což je možné označit v kontextu percepce barev za minimální hodnotu pro plnobarevné zobrazení. V oblasti rozšířené reality je však třeba též uvažovat systémy, které z technických či jiných důvodů pracují pouze s 1 či 8bitovou hloubkou. Rozdělení systémů AR z hlediska barevné informace vychází z principů počítačové grafiky a dělení obrazu na základě barevné hloubky.

PH-V-B1: Monochromatické zobrazení (1 bit)

PH-V-B2: Zobrazení ve stupních šedi (typicky 8 bit)

PH-V-B3: Vícebarevné zobrazení (2 až 8 bit)

PH-V-B4: Plnobarevné zobrazení (24 bit a více)

U specifických displejů (např. brýlí) může být z technického důvodu možné jen zobrazení na úrovni PH-V-B2 či PH-V-B3. Z hlediska percepce se může jevit vícebarevné zobrazení plnohodnotnější než zobrazení ve stupních šedi, ačkoliv z technického hlediska může být datová náročnost u vícebarevného zobrazení i menší. Za dostatečně reprezentativní hodnotu barevné informace pro skutečné barevné zobrazení považuje práce hodnotu barevné hloubky 24 bitů (PH-V-B4), označovanou jako True Color. Zobrazovací zařízení pracující s barevnou informací v True color používají pro zobrazení barevný model RGB. Vyšší barevná hloubka (např. Deep Color) je již z percepčního hlediska nevýznamná, neboť citlivost lidského oka na barevnou informaci dostatečně postihuje 24bitová hloubka. Kromě technických omezení pro použití jiného než plnobarevného zobrazení mohou existovat také fyziologické příčiny či důvodný záměr při konstrukci daného systému.

⁸³ STERNBERG, Robert J. *Kognitivní psychologie: Cognitive psychology*. Z angl. orig. přel. František Koukolík. Praha: Portál, 2002. 632 s. ISBN 80-7178-376-5. s. 145.

3.3 Funkčně-technologické aspekty rozšířené reality

Z vymezení rozšířené reality je zřejmé, že AR je technologickým konceptem, který může mít různé podoby, nabízet rozličná imerzivní prostředí a naplňovat princip rozšířené reality různým způsobem z hlediska technického provedení. Vymezuující atributy uvedené v kapitole 3.1.4 odrážejí především technologickou a rezultatovou podstatu rozšířené reality. Při snaze o vytvoření přesnějšího klasifikačního rámce systémů AR je proto třeba aplikovat kromě percepčního hlediska také hledisko technologické, vycházející z podstaty technického systému, a hledisko rezultatové, charakterizující možnosti systému prostřednictvím vlastností realizované rozšířené reality.

3.3.1 Technologické hledisko

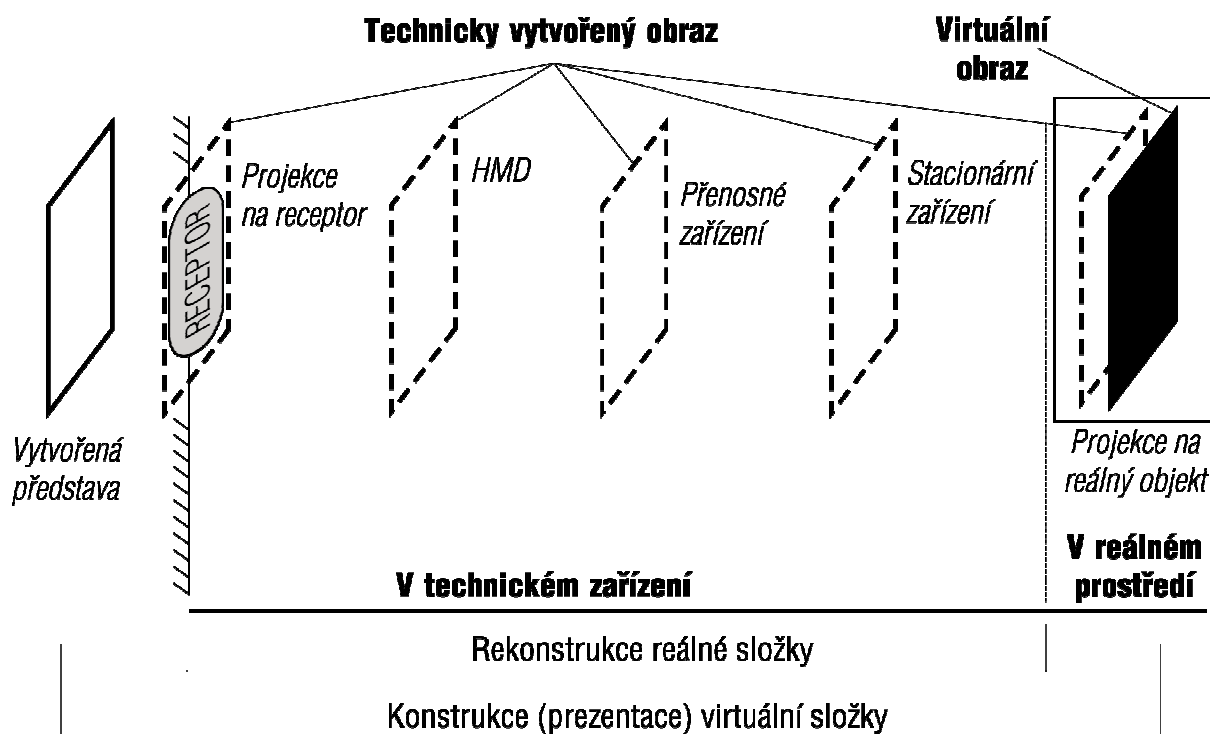
Většina dosavadních vědeckých studií zaměřených na rozšířenou realitu se zabývá zejména technologickými možnostmi a konfigurací systémů za účelem dosažení žádoucího výsledku. Je zřejmé, že technické aspekty systémů AR do značné míry předurčují možnosti jejich využití, tedy i význam a možnosti pro využití ve vzdělávání. Vymezením následujících kritérií se práce snaží o sestavení klasifikačního rámce z hlediska technologického, který dostatečně reflektuje možná technická řešení systémů AR.

Konfigurace složek rozšířené reality

Rozšířená realita se skládá ze dvou složek. Informačně primární a zároveň řídicí složku tvoří reálné prostředí (reálná složka), virtuální prvky do primárního prostředí zanášené tvoří druhou složku (virtuální složka). Konfigurací složek je pak myšleno čistě technické řešení jejich zprostředkování směrem k uživateli, resp. v jaké části prezentační osy (reálné prostředí – zařízení – uživatel) jsou jednotlivé složky z hlediska percepce uživatele alokovány. Jednotlivé možnosti lokace těchto složek vymezuje následující schéma, které částečně vychází z Bimberova schématu konstrukce obrazu pro rozšířenou realitu⁸⁴ a Milgramovy struktury zobrazovacích zařízení pro smíšenou realitu⁸⁵.

⁸⁴BIMBER, Oliver., RASKAR, Ramash. - *Modern Approaches to Augmented Reality*. [online]. Mitsubishi Electric Research Laboratories. 2006, 7. Dostupné z: <http://www.merl.com/papers/docs/TR2006-105.pdf>.

⁸⁵MILGRAM, Paul. Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, SPIE Vol. 2351 Bellingham, 1994. [online] Dostupné z: http://wiki.commres.org/pds/Project_7eNrf2010/_5.pdf.



Obr. 10 - Způsoby konstrukce virtuální složky a rekonstrukce reálné složky

Zcela na levé straně schématu na Obr. 10 se nachází extrémní případ, který naznačuje spíše futuristickou možnost řešení, kdy systém AR danou složku (v tomto případě zejména virtuální) prezentuje, resp. zprostředkovává uživateli až za receptory, tedy přímo do mozku⁸⁶. Dále, na ose směrem doprava, následuje oblast, kdy je k percepci prezentovaných objektů zapotřebí technické zařízení; jedná se tedy o percepci dané složky skrze technické zařízení. V takovém případě je pro systémy AR určující, kde se toto zařízení nachází z hlediska pozice vůči uživateli, přičemž jednotlivé varianty jsou názorně naznačeny na schématu. Všechny tyto varianty jsou společně vznikem obrazu virtuálního či reálného objektu na odlišném místě, než se daný objekt z pozice uživatele nachází.⁸⁷ Při percepci distančními receptory se jedná kromě vykreslení obrazu přímo na receptor (např. u VRD⁸⁸) o konstrukci obrazu v zařízení umístěném na ose vymezené receptorem na jedné straně a pozicí vnímaného objektu v 3D prostoru na straně druhé. V rámci této osy existují tři významné varianty: (a) zařízení umístěné na hlavě, které je během pohybu uživatele ve stále stejné pozici vůči daným receptorům, (b) mobilní zařízení, jehož pozici vůči sobě si může uživatel bez větších problémů přizpůsobit, a (c) stacionární zařízení, jež vyžaduje naopak poziční přizpůsobení od uživatele. Zcela na pravé části schématu je vyznačena oblast, kdy je obraz a objekt na totožné

⁸⁶ V době vzniku této práce je úvaha o prezentaci obsahu, kdy systémy přímo skrze elektrochemickou stimulaci mozku navozují pocity percipování okolního prostředí podobně jako je tomu u halucinací, čistě na úrovni teoretické, neboť doposud nejsou takové funkční systémy veřejně známé.

⁸⁷ Viz Milgramovo vymezení reálného a virtuálního na Obr. 2.

⁸⁸ Virtual Retinal Display (VRD) je zobrazovací technologie, která pracuje na principu vykreslení obrazu laserem přímo na sítnici lidského oka. Tyto systémy jsou blíže popsány v kapitole 3.4.1.

pozici v rámci 3D prostoru. Virtuální složka se de facto stává součástí reálného prostředí, kdy je vnímaná přímo z reálného prostředí bez nutnosti dalšího technického zařízení. Mezi receptory uživatele a prezentovaným objektem se tak nenachází žádný technický prvek systému AR, který by modifikoval či rekonstruoval prezentovaná data. V případě kontaktních receptorů musí systém AR zajistit alokaci virtuální informace na pozici vnímaného objektu, neboli virtuální objekt a obraz se musí nacházet na stejné pozici. V opačném případě by nebyl splněn třetí požadavek na systémy AR (reflektování trojdimenziální podstaty reálného prostředí při zasazení virtuálních prvků do tohoto prostředí).

Pomineme-li extrémní případ prezentace za receptory, lze stanovit tři základní stavy konfigurace virtuální a reálné složky:

TH-K1: obě složky jsou percipovány přímo (z reálného prostředí)

TH-K2: reálná složka je percipována přímo, virtuální složka skrze technické zařízení

TH-K3: obě složky jsou percipovány skrze technické zařízení

Systémy v rámci konfigurace TH-K1 se vyznačují zasazením virtuální složky přímo do reálného prostředí. Výsledné prostředí rozšířené reality (obě složky) tak může být uživatelem percipováno jednotně z hlediska lokace obou složek a s větší mírou pocitu vnímání uceleného prostředí. Zprostředkování vzniklé rozšířené reality směrem k uživateli tak není limitováno technickým zařízením, které by bylo nutné pro její percipování. Typickým příkladem může být např. projekce na reálný objekt či hologram. V případě konfigurace TH-K2, kde je reálná složka percipována rovněž přímo, ale pro percepci virtuální složky je již zapotřebí technické zařízení, jsou obě složky alokovány zcela odděleně. Řešení založená na konfiguraci TH-K2 jsou například systémy s hlavovým polopropustným displejem či stacionární systémy s polopropustným zrcadlem. V rámci konfigurace TH-K3 je technické zařízení nezbytné pro percepci obou složek. Reálné prostředí je tak v rámci těchto systémů AR snímáno a následně rekonstruováno. Tyto systémy jsou nejčastěji používané (např. tablety či monitor-based systémy), což odráží skutečnost, že v současné době se jedná o technicky jednodušší řešení než v ostatních případech.

V případě, kdy je reálné prostředí zprostředkováno technickým zařízením (TH-K3), je kladen na daný systém AR značný nárok na kvalitu rekonstrukce snímané reality. Problematikou věrohodnosti a realističnosti reprodukováného vizuálního obrazu se zabývá ve své práci např. Naimark⁸⁹. Naopak v druhém případě, kdy je virtuální složka alokována v zařízení a realita percipována přímo, je u vizuálních systémů měřítkem kvality zejména technické zpracování polopropustného displeje

⁸⁹ NAIMARK, Michael. Elements of Realspace Imaging: A Proposed Taxonomy. In *SPIE/SPSE Electronic Imaging Proceedings*, vol. 1457, San Jose, 1991. [online] Dostupné z: <http://www.naimark.net/writing/realspace.html>.

z hlediska minimálního narušení vnímání reálného prostředí a zároveň vykreslení virtuálních prvků v dostatečné kvalitě.

Povaha řídicí informace

Řídicí informace je nutnou podmínkou pro splnění druhého základního požadavku na systémy AR, kterým je jejich reaktivita na změny primárního prostředí v reálném čase. Na základě řídicí informace systém AR nějakým způsobem reaguje, konkrétně modifikuje percipovanou rozšířenou realitu skrze přidávání či odebrání virtuálních prvků. Povaha, resp. různé typy řídicí informace, se kterými systémy pracují, do značné míry určují u systémů flexibilitu z hlediska jejich využití a zároveň technickou složitost.

V obecné rovině, nezávisle na oblasti percepce zacílené rozšířenou realitou, práce definuje tři možné kategorie řídicích informací:

TH-P1: parametr reálného prostředí

TH-P2: záměrně vložený artefakt do reálného prostředí

a. model napodobující reálný prvek

b. jednoznačně rozpoznatelný kód

TH-P3: parametr uživatele

V rámci skupiny TH-P1 je řídicí informací přirozeně existující prvek, resp. jeho parametr obsažený v okolní realitě, na který systém reaguje. Může se ve své podstatě jednat o jakýkoliv parametr (tvar, barva, frekvence zvuku, hrubost materiálu apod.) reálného prostředí, případně o kombinaci vícero různých parametrů. V tomto případě je systém zcela závislý na snímání a následné analýze reálného prostředí. Z hlediska vzájemného vztahu systému a řídicí informace nezáleží na pozici uživatele vůči systému ani vůči řídicímu parametru. Stejnými parametry se vyznačuje i druhé kategorizační hledisko TH-P2. Jedná se v podstatě o ulehčení systému v rámci procesu analýzy snímaného reálného prostředí zanesením takového artefaktu, který se vůči okolnímu prostředí výrazně liší a jehož identifikace je pro systémy AR jednodušší. Při podrobnějším zkoumání variability řídicích informací v rámci této skupiny je možné stanovit dvě podskupiny: (a) modely reálných prvků a (b) jednoznačně rozpoznatelné kódy, někdy označované jako tzv. *markery*. Modely jsou tvořeny tak, aby po vizuální stránce splynuly se scénou, přičemž uživatelem nemusí být vždy identifikovány a mohou mít větší informační hodnotu v kontextu rozšířené reality než kódy. Za kódy jsou považovány takové artefakty, které jsou jasně rozpoznatelné a identifikovatelné jako prvky, které se odlišují od běžně chápaných prvků reálného prostředí. Zpravidla jsou dvojrozměrné (např. QR kódy, čárové kódy aj.). Samotná podoba artefaktu je z hlediska pojetí povahy řídicí informace v podstatě bezpředmětná, nicméně z hlediska grafických a fyzických parametrů může být dosti

limitující v závislosti na technických požadavcích konkrétních systémů tak, aby bylo zabezpečené dostatečné rozpoznání takového prvku. Často je významná jasová a kontrastní pestrost, tvar, zřejmá odlišnost od ostatních artefaktů v rámci daného systému aj. Řídící informace ve třetí skupině TH-P3 jsou charakteristické svým úzkým sepnutím s uživatelem. Jedná se o informace o určité vlastnosti uživatele či technického zařízení jako součásti systému AR, kterým je uživatel vybaven. Tyto informace jsou nejčastěji geofyzikálního (pozice, poloha či orientace), biofyzikálního (např. teplota) či fyzikálního charakteru (rychlost, zrychlení aj.), přičemž v současné době se nejčastěji využívá kombinace některých z technologií GPS, wifi, elektronický kompas, gyroskop a akcelerometr pro získání informace o pozici a orientaci uživatele vůči povrchu Země.

Výsledná podoba rozšířené reality z hlediska percepční oblasti či druhu přidávaných virtuálních prvků nikterak nesouvisí s povahou řídicí informace ani jejím percepčním zaměřením. Z hlediska využívání řídicích informací současně mohou být systémy AR, dle svých technických možností, řízeny jak jedním typem, tak i více parametry napříč všemi kategoriemi řídicích informací současně.

Počet uživatelů

Toto kritérium sleduje technické řešení systémů AR z hlediska počtu uživatelů, pro které je systém určen, resp. kolik uživatelů může v jednom okamžiku společně daný systém používat a vnímat vytvářenou rozšířenou realitu. Je zřejmé, že samotná aplikace rozšířené reality či programové vybavení, které systém využívá, může být do značné míry rovněž určující z hlediska počtu cílových uživatelů pro danou aplikaci. Nicméně toto kritérium zohledňuje čistě technické řešení, tedy možnosti systému AR jako technického prostředku zacílit obsah rozšířené reality na daný počet participujících uživatelů bez ohledu na konkrétní účel využití. Systém AR může poskytovat efekt rozšířené reality pouze jednomu uživateli nebo větší skupině uživatelů. V rámci větší skupiny uživatelů může systém poskytovat požadovaný efekt v plné míře buď všem uživatelům shodně, nebo jen části skupiny a pro zbytek uživatelů je pak rozšířená realita nějakým způsobem limitována. Systémy tedy mohou být z hlediska počtu uživatelů děleny na:

TH-U1: jednouživatelské

TH-U2: limitovaně víceuživatelské

TH-U3: víceuživatelské

Možný počet participujících uživatelů většinou závisí na prezentačním prvku systému AR, který na základě svého technologického řešení a předpokládaného umístění vůči receptorům uživatele prezentuje obsah AR danému počtu uživatelů. Takto je možné určit např. HMD systémy jako jednouživatelské a systémy s projekcí do reálného prostředí (např. hologram) jako víceuživatelské.

Limitovaně víceuživatelské systémy mohou být např. tablety či stacionární systémy, které umožňují percepci vzniklé rozšířené reality větší skupině, ale případnou interakci uživatele s daným systémem pouze jednomu uživateli v rámci této skupiny.

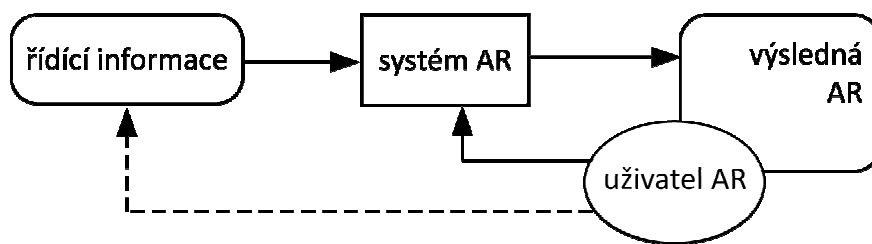
Podpora interakce mezi uživatelem a systémem

Čtvrtým technologickým hlediskem je podpora interakce mezi uživatelem a systémem AR. Některé systémy AR podporují interakci, jíž může uživatel ovlivňovat percipovanou AR, zatímco jiné nikoli. V rámci technologických hledisek není potřeba dále členit tuto interakci na základě formy a míry interakce (ta do značné míry vyplývá z ostatních technologických a percepčních hledisek), proto se nabízejí základní dva stavy podpory interakce ze strany systému AR:

TH-I1: podporuje interakci

TH-I2: nepodporuje interakci

Podpora interakce je zde chápána jako možnost uživatele zasahovat určitými povely (gesty, zvukovými povely, skrze technické zařízení atd.) do konstrukce rozšířené reality, nejčastěji pak ovlivňovat podobu a množství virtuálních prvků. Jedná se tedy o zásah do jinak automaticky běžící aplikace daného systému, který změní průběh vyhodnocovacího algoritmu. Interakcí naopak není myšleno např. spuštění zařízení či jeho ovládání, které nemá přímý vliv na průběh aplikace AR. Rovněž uživatelova manipulace s řídicí informací v reálném prostředí není považována v tomto kontextu za interakci. Sice se jedná o ovlivnění podoby rozšířené reality, nicméně takový zásah (skrze prvky v reálném prostředí) nesouvisí přímo s podporou interakce ze strany systému AR, ale jedná se o základní princip rozšířené reality, resp. funkci systému AR. Na následujícím zjednodušeném schématu (Obr. 11) principu rozšířené reality je pomocí plných čar znázorněna interakce systému AR (zahrnuje rovněž reaktivitu systému na řídicí informace).



Obr. 11 - Schéma naznačující interakci mezi uživatelem a systémem AR

Čárkovaná čára naopak naznačuje zásah uživatele, který není považován za interaktivní, resp. se jedná o nepřímou interakci mezi uživatelem a systémem skrze manipulaci s řídicími prvky v reálném prostředí, jejíž míra závisí primárně na aplikaci AR a ne na systému.

3.3.2 Rezultátové hledisko rozšířené reality

Rezultátové hledisko AR odráží především vlastnosti výsledného prostředí a vzájemný vztah virtuální a reálné komponenty z pohledu uživatele. Jedná se o atributy charakterizující požadovaný výstup aplikace či systému AR nezávisle na technickém provedení či percepční oblasti, se kterou systém pracuje. Rezultátová kategorizační hlediska je možné rozdělit na subjektivní a objektivní. Objektivní deskribují prostředí rozšířené reality nezávisle na uživateli AR. Subjektivní jsou naopak zaměřená na vlastnosti spojené s pocitem či stavem uživatele v prostředí AR.

Mezi objektivní hlediska lze zařadit (o1) poměr složek reálného a virtuálního prostředí, (o2) informační denzitu zprostředkované rozšířené reality a (o3) povahu rozšířené reality z hlediska vzájemného vztahu přidané informace a reálného prostředí. Mezi subjektivní patří (s1) míra realističnosti výsledné rozšířené reality a (s2) pocit účasti uživatele v rozšířené realitě.

Poměr složek reálného a virtuálního prostředí

Toto hledisko reflektuje základní podstatu rozšířené reality, tedy koexistenci reálné a virtuální složky, které společně vytvářejí nové smysluplné prostředí AR. V případě jakékoli percepční oblasti se jedná o míru zastoupení jednotlivých složek v uživatelem percipovaných informacích. Míra zastoupení, resp. poměr může nabývat v podstatě jakékoliv hodnoty od extrému výhradně reálné složky po extrém výhradně virtuální složky. Jedná se tedy o hodnoty v rámci kontinua vymezeném zmíněnými extrémy.

RH-P1: téměř výhradní zastoupení reálným prostředím

RH-P2: téměř výhradní zastoupení virtuálními prvky

Vymezené kontinuum na straně RH-P1 hraničí s klasickým reálným prostředím, na straně RH-P2 pak s prostředím virtuální reality. Ačkoliv toto hledisko vychází z Milgramem vymezeného virtuálního kontinua (viz Obr. 3), nezačleňuje již rozšířenou virtualitu do vzájemné konfrontace, neboť ta leží mimo oblast AR a rovněž ji není možné vůči AR vymezit pouze vzájemným poměrem virtuální a reálné složky.

Informační denzita

Informační denzita zprostředkované AR je v tomto kontextu uvažována relativně vůči informační denzitě původního reálného prostředí. Hledisko tak charakterizuje míru navýšení informační denzity prostředí AR, resp. schopnost systému poskytovat informace uživateli v určité hustotě. Podobně jako v předchozím hledisku se jedná o hodnoty v rámci kontinua vymezeného úrovněmi změny informační denzity. Na jedné straně je toto kontinuum vymezeno stavem, kdy je výsledná denzita nižší než původní. Jedná se typicky o příklady, kdy virtuální složka má za cíl vymaskovat

určité informace v reálném prostředí. Na druhé straně je kontinuum vymezeno stavem s vysokou mírou navýšení. V kontextu využití rozšířené reality ve vzdělávání je vhodné uvést ještě jeden stav, kdy je informační denzita nízká, resp. se jedná o stav hraničící s nulovým navýšením oproti RP.

RH-I1: snížená informační denzita

RH-I2: nízká informační denzita

RH-I3: vysoká informační denzita

Povaha AR

Třetím objektivním hlediskem je účel realizace, resp. povaha rozšířené reality z hlediska vztahu přidané informace k původní realitě. Tento vztah je charakterizován rozdílem obsahového významu výsledné kombinace konkrétní přidané informace a reálného prostředí, se kterým tato informace souvisí, oproti původnímu významu daného reálného prostředí, případně jeho části. Přidaná informace může být přidána za účelem doplnění reality, obohacení o novou informaci, ale i za účelem odebrání určité informace z percepčního pole uživatele. Z hlediska technologicko-funkčního principu se jedná stále o přidávání určité informace, nicméně z hlediska výsledného může mít přidaná informace značně rozdílný význam v kontextu výsledného celku. Lze tedy rozlišovat následující možné varianty rozšířené reality:

RH-U1: upravená

RH-U2: doplněná

RH-U3: obohacená

Upravená rozšířená realita je charakteristická změnou vůči původnímu reálnému prostředí, která nepřináší obsahově významné prvky do výsledné AR, a naopak může v některých případech původní prostředí zjednodušit, např. vymaskováním rušících či nežádoucích prvků reálného prostředí.

Další dvě kategorie RH-U1 a RH-U2, které jsou nejčastějšími případy rozšířené reality, jsou naopak založené na přidání nové informace, která původní prostředí obsahově rozšiřuje. U doplněné AR se jedná o doplnění prvku, který v reálném prostředí existuje, ale je z nějakého důvodu v rámci daného percepčního kanálu a dané situace uživateli nedostupný (např. zobrazení kostry na lidském těle). Účelem systémů, resp. aplikací AR pracujících s rozšířenou realitou této povahy je v podstatě vylepšení percepce uživatele v dané percepční oblasti. Rozšířená realita typu RH-U2 pak doplňuje původní prostředí o neexistující prvky (v rámci daného prostředí a dané percepční oblasti). Typicky se může jednat o různé formy historické či futuristické vizualizace, obohacení o podněty dokreslující atmosféru prostředí aj. Jelikož systémy AR mohou pracovat s více percepčními

oblastmi a teoreticky s neomezeným množstvím přidaných virtuálních prvků, může nabývat výsledná rozšířená realita i smíšené povahy, tedy využívat kombinaci až všech těchto kategorií.

Mezi subjektivní hlediska patří míra realističnosti výsledné rozšířené reality a pocit účastnictví uživatele v rozšířené realitě. Obě hlediska úzce souvisí s imerzí, kterou výsledné prostředí AR disponuje. První hledisko je v podstatě jedním z určujících parametrů míry imerze, druhé pak určuje povahu imerze.

Míra realističnosti

Účastník rozšířené reality určitým způsobem vnímá komplexitu prostředí rozšířené reality. Případy, kdy toto prostředí působí dojmem „dokonalé iluze“, resp. nabývá maximální možné míry realističnosti či je naopak začlenění virtuálních prvků tak zjevné, že účastník nepodlehne ani na okamžik pocitu komplexnosti a „uvěřitelnosti“ daného prostředí, je možné označit za krajní případy kontinua míry realističnosti rozšířené reality.

RH-R1: maximální míra realističnosti

RH-R2: minimální míra realističnosti

Míra realističnosti je významně závislá vedle samotného provedení rozšířené reality také na subjektivním pocitu účastníka, který je určen např. jeho fyziologickými možnostmi či zkušenostmi rozpoznat virtuální prvky zakomponované do původního reálného prostředí. Míra realističnosti nemusí být vždy měřítkem kvality rozšířené reality či systémů AR. Některé aplikace jsou vytvořené záměrně tak, aby účastník jasně dokázal rozlišit mezi původním prostředím a přidanými prvky.

Pocit účastnictví

Pocit účastnictví v rozšířené realitě určuje, zda účastník je sám zároveň součástí prostředí AR nebo je pouze pozorovatelem vznikající AR. Někteří autoři^{90, 91} rozlišují AR, resp. konfiguraci systémů AR na tzv. *magické zrcadlo* (*magic mirror*) a *magické okno* (*magic window* nebo *magic lens*). Toto rozdělení částečně reflektuje hledisko pocitu účastnictví (viz Obr. 12, vlevo *magic mirror*, vpravo *magic window*).

⁹⁰ ZHEN, Bai, BLACKWELL, A.F. See-through window vs. magic mirror: A comparison in supporting visual-motor tasks. In *Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2013 IEEE International Symposium on. 2013. s. 239 - 240. DOI: 10.1109/ISMAR.2013.6671784.

⁹¹ CRAIG, Alan B. *Understanding Augmented Reality: Concepts and Applications*. Newnes, 2013, 296 s. ISBN. 0240824105.



Obr. 12 - Příklad uživatele v roli účastníka rozšířené reality (vlevo)⁹² a v roli pozorovatele (vpravo)⁹³

Nicméně dělení systémů na *magic mirror* a *magic window* není z hlediska výsledné rozšířené reality adekvátní, neboť zohledňuje konfiguraci systému, ale nepostihuje plně povahu rozšířené reality v rámci vztahu k uživateli. Uživatel nemusí být nutně součástí AR, i když se může jednat o typ *magic mirror*. Podobně je tomu i v případě *magic window*, kdy naopak může být účastník zároveň součástí rozšířené reality (např. brýle, přes které vidí rovněž části svého těla, které mohou být řídicími prvky).

Pocit účastnictví v rozšířené realitě reflektuje zaprvé to, zda se uživatel rozšířené reality vyskytuje v rozšířené realitě v rámci svého percepčního pole. Za druhé, zda je jeho případná účast v AR aktivní, tj. je-li on sám řídicím prvkem pro systém AR. Na základě těchto dvou stupňů je možné stanovit tři následující stavy účastnictví:

RH-PU1: pozorovatel

RH-PU2: pasivní účastník

RH-PU3: aktivní účastník

Případ RH-PU1, kdy je uživatel rozšířené reality v roli pozorovatele, je zobrazen na Obr. 12 vpravo. Uživatel nahlíží skrze zařízení AR na okolní reálné prostředí, do něhož jsou přidávány virtuální prvky. Uživatele odděluje od prostředí rozšířené reality daný systém AR. Ačkoliv je možné, aby uživatel vložil do zorného pole systému AR např. svou ruku (natažením před tablet či před brýle), pro systém i aplikaci AR se jedná spíše o rušivý prvek, který nemá mít na výslednou rozšířenou realitu určující vliv. Zbylé případy jsou typické začleněním uživatele do vytvářené rozšířené reality jako významného prvku pro výslednou koncepci AR. Případ RH-PU2 (viz Obr. 13), kdy účastník plní pasivní roli v rámci rozšířené reality, je typický pro systémy, které počítají se zasazením uživatele do vytvářené AR, nicméně jako koordinátory a řídicí prvky používají okolní objekty (v případě TH-P1 a TH-P2).

⁹² Převezato z: <http://vimeo.com/60733057>.

⁹³ Převezato z: <http://www.rhapsodylabs.com/blog/what-is-augmented-reality/>.



Obr. 13 - Příklad rozšířené reality s pasivní účastí uživatele⁹⁴

Pocit účastnictví uživatele v takovém případě je výhradně dán jeho vnímáním své pozice a vztahu k vytvořené rozšířené realitě (resp. přidaným prvkům). Často se také může jeho role změnit na roli pozorovatele tím, že „vystoupí“ z daného prostředí, což nemá na funkci systému AR žádný vliv. V rámci posledního případu RH-PU3 (viz např. Obr. 12 vlevo) využívá systém AR aktivně účastníka rozšířené reality jako řídicí body. Ve většině případů přidané virtuální prvky modifikují či rozšiřují tu část reality, která přímo souvisí s účastníkem (např. změna obličeje, oblečení apod.).

3.4 Kategorizace rozšířené reality na základě technologických a percepčních hledisek

Kategorizací rozšířené reality na základě technologických hledisek vymezených v předchozí kapitole 3.3 a percepčních hledisek vymezených v kapitole 3.2.1 se práce snaží stanovit ucelený přehled systémů AR a jejich aplikací, resp. možných obecných konfigurací rozšířené reality, a tím umožnit jasnou a snazší identifikaci konkrétních řešení AR včetně technických možností a nedostatků takových řešení. Tento přehled společně s přihlédnutím k výsledkovým hlediskům následně pomůže definovat didaktické funkce a možnosti edukačního využití konkrétních systémů AR, jakožto i jejich aplikačních řešení.

Rozdělení rozšířené reality z hlediska celkového pojetí jako technologicko-percepčního konceptu vychází z obecných kritérií AR stanovených v kapitole 3.1.4. a technologického hlediska Konfigurace složek rozšířené reality. Na základě kritérií je možné rozdělit koncepty AR (obecně považované za rozšířenou realitu) na koncepty splňující všechna požadovaná kritéria a koncepty, které nenaplnují alespoň (a také nejčastěji) jedno z těchto kritérií. Tyto koncepty je možné souhrnně označit jako tzv. *pseudo AR*, neboť jsou obecně považovány za rozšířenou realitu, nicméně kvůli nenaplnění některého kritéria je není možné za AR označit. Jedná se např. o doplnění grafických informací do televizních sportovních přenosů (nesplněné 1. kritérium), optické iluze bez reaktivity

⁹⁴ Převzato z: <http://dailypicksandflicks.com/2012/05/26/bbc-frozen-planet-augmented-reality-video/>.

systému na okolní prostředí (nesplněné 2. kritérium) či např. zobrazení grafické informace o přichozím e-mailu na skle brýlí bez registrace tohoto grafického prvku na koordináty v rámci reálného prostředí (nesplněné 3. kritérium).

S přihlédnutím k technologickému hledisku TH-K je možné rozdělit rozšířenou realitu na tzv. *pravou* a *neúplnou*. Toto rozdělení vychází ze základní podstaty rozšířené reality, tedy zanesení virtuálních prvků do původního reálného prostředí a následné percepce takto vzniklého nového prostředí uživatelem AR. Je zřejmé, že při přímém percipování reálného prostředí bez nutnosti dalšího technického zařízení (případ TH-K1 a TH-K2) naplňují systémy AR podstatu rozšířené reality dokonaleji. V případě rekonstrukce reálného prostředí v technickém zařízení je reálná složka určitým způsobem modifikována (vinou technické nedokonalosti snímačů reálného prostředí a prezentačního zařízení, resp. odlišnosti technických parametrů od fyziologických vlastností percepčních orgánů), a dochází tak ke zkreslení původního reálného prostředí ještě před vlastní percepcí. Z technického hlediska se jedná o snímání, přenos a prezentaci, resp. rekonstrukci obsahu reálného prostředí (obdobně jako u principu televizního přenosu) a dle striktního přístupu je možné pociťovat určitou odchylku od základního principu rozšířené reality, neboť reálná složka se z technického hlediska stává ve své podstatě složkou virtuální. Takovéto systémy AR tedy pracují pouze v režimu TH-K3 a je možné je označit za systémy umožňující pouze *neúplnou AR*. Naopak případy, kdy je reálná složka percipována přímo, se označují za *pravou AR*.

3.4.1 Technologické koncepty rozšířené reality a jejich klasifikace

Při klasifikaci jednotlivých systémů AR je vycházeno z percepčních a technologických charakteristik, které se objevují napříč technologiemi, bez ohledu na konstrukci konkrétních zařízení a princip možných aplikací. Je možné se domnívat, že i technologie, které se objeví v blízké budoucnosti, bude možné charakterizovat podle stejných percepčně-technologických aspektů. V tabulce 1 jsou uvedeny technologické koncepty AR, které jsou klasifikovány na základě jednotlivých hledisek a jsou dále v této práci podrobně deskribované. Při snaze o logické strukturování níže popisovaných technologických konceptů je vycházeno z více třídících hledisek současně, neboť technologie rozšířené reality se liší v mnoha technických parametrech u jednotlivých technických částí i v rámci celého konceptu (typy senzorů, způsob zobrazení, velikost aj.). Do vytvoření následující struktury tak, aby postihla veškeré důležité základní koncepty AR, se promítl způsob prezentace virtuální složky danou technologií z hlediska místa jeho vykreslení vůči uživateli a rozdělení technologií z hlediska pravé a neúplné rozšířené reality.

atributy systémy		Konfigurace složek AR (TH-K)			Povaha řídicí informace (TH-P)			Počet uživatelů (TH-U)			Podpora interakce (TH-I)	Charakter grafických dat (PH-V-CH)			Dynamičnost obrazu (PH-V-D)			Prostorovost (PH-V-P)			Barevná informace (PH-V-B)			
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	Ano	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
		HMD systémy	binokulární systémy s projekcí na sítnici (VRD)	?	•		•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
binokulární optické systémy			•		•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
binokulární video systémy				•	•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
monokulární optické systémy			•		•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
monokulární video systémy				•	•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
mobilní zařízení	PDA			•	○	○	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	○	?	•	•	?	?
	chytré telefony			•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	○	•	•	•	•
	tablety			•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	○	•	•	•	•
stacionární systémy	stacionární optické systémy		•		•	•		•	○		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	stacionární video systémy			•	•	•		•	•		○	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	systém s projekcí do reálného prostředí	•			•	•			•		○	•	•	•	•	•	○	•	•	•	•	?	•	○

Tab. 1 - Klasifikace technologických konceptů rozšířené reality (• - systém se vyznačuje tímto hlediskem, ○ - systém se částečně vyznačuje tímto hlediskem, ? - není možné jednoznačně určit)

HMD systémy

HMD (Head-mounted display) je zobrazovací zařízení, které je umístěno na hlavě uživatele tak, že při jeho pohybu (včetně pohybu hlavy) zůstává zobrazovaný obsah stále na stejném místě vůči jeho očím.⁹⁵ Tento princip zvyhodňuje tato zařízení oproti ostatním prezentačním technologiím pro specifická využití⁹⁶, kde je potřeba pohybu uživatele za zajištění stálého sledování zobrazovaného obrazu. Zařízení mohou být jak monokulární, kdy je uživateli prezentována obrazová informace pouze pro jedno oko, tak binokulární, která jsou vybavena většinou pro každé oko jedním samostatným displejem. Technické řešení HMD se velmi různí v závislosti na pokroku ve vývoji (zejména v oblasti displejů s vysokým rozlišením), způsobu zobrazení (projekce na sítnici, polopropustný displej atd.) a dle účelu využití. Největší rozvoj těchto zařízení souvisí s rozvojem virtuální reality, neboť poskytují vysokou míru imerze. Použití HMD pro rozšířenou realitu vyžaduje, aby zařízení disponovalo kromě zobrazovací části také senzory, které snímají parametry

⁹⁵ head-mounted display (device), In *Encyclopædia Britannica*, Inc. Encyclopædia Britannica [online]. 2013 [cit. 2013-10-8]. Dostupné z: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/1195585/head-mounted-display>

⁹⁶ Např. pro virtuální realitu, rozšířenou realitu, hraní her, sport, stereoskopickou projekci aj.

okolní reality uživatele. Většina systémů AR s HMD (dále jen HMD systémy) je vybavena kamerou nainstalovanou tak, aby svým snímáním co nejvíce simulovala pohled očí.⁹⁷ Často zařízení také umožňují sledování pozice a polohy uživatele v prostoru (head-tracking), k čemuž využívají akcelerometr, gyroskop, magnetometr či GPS přijímačem, jimiž jsou standardně vybavena.

HMD systémy je možné rozdělit do dvou hlavních skupin. V případě, že rekonstruují reálnou složku v zařízení, tedy zajišťují zobrazení virtuální i reálné složky, označují se jako video HMD (někdy také jako *video see-through HMD*). Pro takové systémy je typické kompletní zatemnění zorného pole uživatele zařízením a umožnění sledovat pouze prezentovaný obsah. Druhou skupinou jsou tzv. optické HMD systémy, které využívají průhlednosti polopropustného displeje a v zařízení zobrazují pouze virtuální složku. Reálná složka zůstává percipována uživatelem přímo skrze průhledný displej.



Obr. 14 - Binokulární video HMD⁹⁸ (vlevo) a monokulární optický HMD⁹⁹ (vpravo)

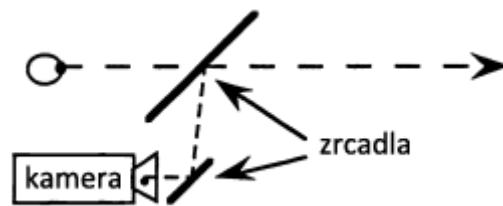
Mezi důležité sledované vlastnosti u HMD obecně patří šířka zorného pole (FOV – Field of view), jakou zařízení uživateli nabízí. FOV běžného člověka je dána zorným úhlem asi 200° pro obě oči, resp. 160° pro jedno oko. HMD nejsou doposud schopny nabídnout odpovídající hodnotu; běžně se pohybuje FOV mezi hodnotou 30° až 40°, vysoce profesionální zařízení mohou nabízet zorný úhel až 150°. Rozlišení zobrazení se u HMD v posledních letech neustále zvyšuje a možnosti systémů v této oblasti souvisí také s FOV a velikostí zařízení. Problém rozlišení nemusí být příliš významný u optických HMD, kde zobrazovaná informace většinou pokrývá jen část displeje. Rozlišení běžně udávané u současných komerčně dostupných HMD se pohybuje kolem 800 x 600 px. Důležitým parametrem je dále rozlišení kamery. U optických HMD systémů je kamera využívána primárně

⁹⁷ V případě binokulárních systémů jsou HMD vybavena dvěma kamerami a dvěma displeji, čímž umožňují stereoskopickou projekci.

⁹⁸ AZUMA, Ronald T. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6 [online]. 1997 [cit. 2013-09-03]. Dostupné z: <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>.

⁹⁹ AiR, Head mounted unit from Brother. *Brother, at your side* [online]. 2013 [cit. 2014-03-19]. Dostupné z: http://www.brother.co.uk/g3.cfm/s_page/888150/s_name/Airscouterhome1/s_level/265400.

k poskytnutí obrazu pro analýzu řídicích prvků, u video HMD je navíc nutné zajistit potřebnou kvalitu vzhledem k zobrazení výstupu v zařízení. U video HMD systémů se často objevuje rozdíl mezi pozorovacím úhlem oka vůči reálnému prostředí a úhlu snímání kamerou (viewpoint matching), resp. větší roztečí čoček kamer než je rozteč očí (IPD – Interpupillary distance) u binokulárních systémů. Zejména díky robustní konstrukci zobrazovací části pro zajištění dostatečné kvality obrazu byl tento problém zřetelný (viz Obr. 14 vlevo) u dřívějších typů HMD. Tento defekt zapříčiňuje poskytnutí jiného zorného pole, než uživatel očekává, či např. stereoskopické anomálie u binokulárních systémů. Některé HMD využívají soustavu zrcadel pro zajištění shodného zorného pole pro kameru jako pro oko, což ilustruje následující schéma.



Obr. 15 - Použití soustavy zrcadel pro usměrnění optického signálu

Díky vývoji a minimalizaci jak snímacích, tak zobrazovacích zařízení již není u současných video HMD problém umístit kameru na osu mezi oko a pozorovaný objekt, resp. přímo před zobrazovací displej.

Problém, který je také často řešen, je hmotnost a velikost zařízení. Především u binokulárních video HMD systémů může být hmotnost velká, a tím ovlivnit komfort uživatele (např. systém WRAP 1200DXAR od výrobce Vuzix¹⁰⁰). Hmotnost je dána vybaveností celého zařízení (kamera/y, zobrazovací část, senzory).

Interakce uživatele se systémem bývá u HMD většinou zajištěna buď integrovanými ovládacími prvky přímo na konstrukci zařízení (např. Google glass), nebo využitím ovládacího modulu, který může být připojen k zařízení pomocí kabelu nebo bezdrátově (wifi, bluetooth). Využití ovládacího modulu poskytuje uživateli větší komfort, neboť může mít modul neustále v ruce. Integrované ovládací prvky naopak nechávají uživateli neustále volné ruce, což může být pro určité aplikace či úkony zásadní. Interakce mezi uživatelem a HMD systémem může také probíhat pomocí hlasových instrukcí či gest paží před snímacím zařízením. Pro interakci pomocí hlasových či zvukových signálů musí být zařízení vybaveno mikrofonom a potřebným softwarem. Umožnění interakce

¹⁰⁰ Wrap 1200DXAR. Vuzix [online]. 2013 [cit. 2014-03-19]. Dostupné z: http://www.vuzix.com/augmented-reality/products_wrap1200dxar/.

pomocí gest je zpravidla závislé jen na patřičném softwaru, neboť schopnost snímat ruce uživatele je standardní funkční vlastností HMD systémů.

V závislosti na typu, robustnosti a technickém provedení jsou rozdílné též možnosti HMD systémů z hlediska mobility uživatele. Obecně je možno říci, že potřeba konektivity (datové či kvůli napájení) pomocí kabelu závisí čistě na technické dokonalosti provedení daného systému. S nároky na výkon (především u video HMD systémů s vysokou kvalitou obrazu) logicky roste i nárok na energii, a proto jsou často fáze analýzy řídicích prvků, registrace a renderování scény prováděny mimo samotné zařízení (např. v počítači či chytrém telefonu). V takovém případě je potřeba zajistit přenos dat směrem do externího zařízení (nejčastěji video signál a data ze senzorů) pomocí USB nebo wifi či bluetooth a zpět, kdy se v poslední době využívá převážně HDMI. V případě, kdy HMD nevyužívá externí zařízení a zajišťuje veškeré operace přímo, roste robustnost zařízení, tím pádem také jeho velikost a hmotnost. Nezávislost na externím zařízení naopak dovoluje plnou mobilitu uživatele i systému.

Systémy s projekcí na sítnici

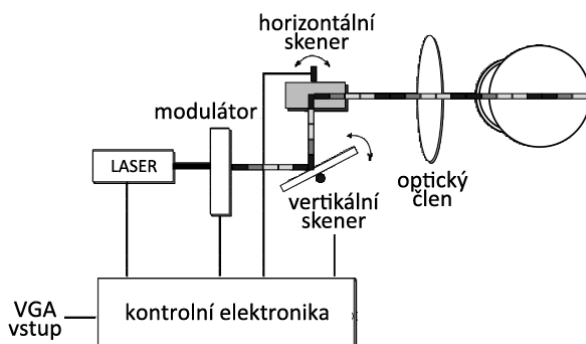
HMD systémy využívající k zobrazení obsahu AR projekci na sítnici (VRD - Virtual Retinal Display) jsou zatím stále spíše v procesu vývoje, i když existuje několik funkčních prototypů, které jsou průběžně představovány na vědeckých konferencích i komerčních veletrzích.¹⁰¹ Princip VRD spočívá v usměrnění zdrojového koherentního světelného paprsku pomocí dvou (horizontálního a vertikálního) zrcadel a následného optického členu na konkrétní bod na sítnici lidského oka.^{102, 103} Technicky je možné VRD konstruovat buď jako optický systém, kdy je paprsek do lidského oka směřován přes polopropustné zrcadlo, které umožňuje uživateli vidět tímto okem rovněž okolní prostředí, nebo jako uzavřený systém (video), kdy je danému oku prezentován pouze obraz na sítnici. Ve většině případů je systém monokulární, ačkoliv je principiálně možné využít VRD i jako systém s prostorovým zobrazením, kdy pro každé oko bude existovat samostatný zdroj světelného paprsku a optická soustava. V takovém případě je však nutné zajistit synchronizaci levého a pravého obrazu při změně paralaxy. VRD prošly značným vývojem od původní monochromní verze pracující s červenou barvou až po aktuálně prezentované technologie pracující v režimu RGB a

¹⁰¹ Např. *True 3D Displays*. Dostupné z : <http://www.hitl.washington.edu/research/true3d/>.

¹⁰² KLEWENO, Conor P., et al. The virtual retinal display as a low-vision computer interface: Pilot study. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 38(4), 431-442. 2001. Dostupné z: <http://www.hitl.washington.edu/publications//r-2002-10/r-2002-10.pdf>.

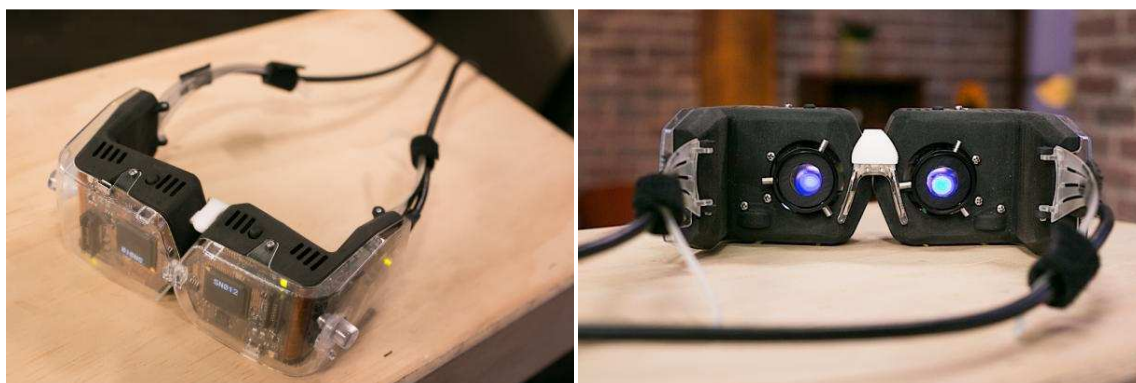
¹⁰³ TURNER, Stuart. *Coupling Retinal Scanning Displays to the Human Visual System: Visual System Response and Engineering Considerations*. Doctoral Thesis, University of Washington. 2002. Dostupné z: <http://www.hitl.washington.edu/publications//r-2002-66/r-2002-66.pdf>.

s rozlišením WXGA.¹⁰⁴ Díky tomu, že VRD pro zobrazení využívá paprsek světla promítaný přímo na sítnici, nevzniká problém s malým rozlišením displejů. Ačkoliv reálný obraz vzniká přímo na sítnici, VRD umožňuje umístit virtuální obraz do větší vzdálenosti od uživatele.



Obr. 16 - Princip VRD systému¹⁰⁵

Kromě pevné fixace zařízení na hlavě uživatele, resp. před jeho okem, je hlavně správné usměrnění paprsku na sítnici stále těžko řešitelný technický problém, neboť pohyb oka je do jisté míry nezávislý na pohybu hlavy. Tyto okolnosti způsobují u zařízení VRD vysokou cenu, technicky složité konstrukce a tím pádem i jejich malou dostupnost a využitelnost. Aktuálně se tak jedná spíše o zařízení ve fázi prototypů.



Obr. 17 - Prototyp video VRD s prostorovým zobrazením¹⁰⁶

Optické HMD systémy

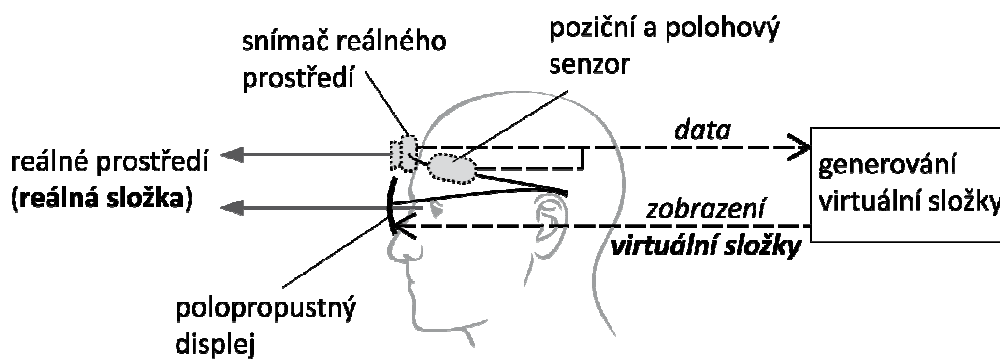
Optické HMD systémy jsou díky svému principu typickými představiteli technologií umožňující *pravou AR*. K zobrazení virtuální složky využívají polopropustný displej, v případě binokulárního

¹⁰⁴ CHAO, Terry. Avegant's Virtual Retinal Display projects 3D onto your eyeballs. *DVICE* [online]. 2013 [cit. 2014-02-10]. Dostupné z: <http://www.dvice.com/2013-10-9/avegants-virtual-retinal-display-projects-3d-your-eyeballs>.

¹⁰⁵ Převzato z: VIIRRE, Erik, et al. The Virtual Retinal Display: A New Technology for Virtual Reality and Augmented Vision in Medicine. In D. Stredney, S.J. Weghorst *Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality*, 1998. s. 252-257. Dostupné z: <http://www.hitl.washington.edu/publications//r-98-21/r-98-21.pdf>.

¹⁰⁶ Avegant's Virtual Retinal Display prototype takes Oculus Rift-style immersion to the next level. *CNET Reviews: Wearable Tech* [online]. 2013 [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: http://reviews.cnet.com/wearable-tech/avegant-virtual-retinal-display/4505-34900_7-35828603.html.

řešení pak pro každé oko jeden samostatný displej. Reálná složka je uživatelem percipována přímo, a to skrze průhledný displej. Zařízení tak nemusí zajišťovat snímání a následné rekonstruování reálné složky, což značně snižuje nároky na jeho výkon. Díky tomu je možné dosáhnout přijatelné hmotnosti a velikosti zařízení z hlediska komfortu uživatele a ergonomických vlastností. Ovlivnění kvality percipované reálné složky ze strany zařízení spočívá pouze v kvalitě a technickém provedení průhledného displeje, resp. v jeho optických vlastnostech, zejména transparentnosti a distorzi. Z hlediska omezení zorného pole systémy nelimitují FOV u reálné složky; děje se tak případně pouze díky fyzické konstrukci, která může zužovat zorný úhel. Nicméně FOV se při vnímání výsledné rozšířené reality odvíjí z velikosti displeje, resp. jeho umístění vůči oku. Šíře zorného pole se tak většinou neliší oproti video HMD systémům.



Obr. 18 - Princip optického HMD systému AR

Problém, se kterým se všechny systémy AR potýkají, je opožděné vykreslování některé ze složek AR vůči změnám v okolním reálném prostředí. V případě HMD se jedná o změny způsobené pohybem hlavy uživatele. U optických HMD systémů může způsobovat toto zpoždění chybnou dočasnou registraci. Jedná se o tzv. dynamickou chybu v registraci^{107, 108}, kdy virtuální prvky nejsou korektně zobrazeny na referenčních souřadnicích v reálném prostředí díky rychlé změně těchto souřadnic. U optických HMD systémů nevzniká časové zpoždění u percepce reálné složky.

¹⁰⁷ AZUMA, Ronald T. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6 [online]. 1997 [cit. 2013-09-03]. Dostupné z: <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>.

¹⁰⁸ BAJURA, Michael., NEUMANN, Ulrich. *Dynamic Registration Correction in Augmented-Reality Systems*. IEEE Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS '95), 1995. ISBN 0-8186-7084-3/95. [online] Dostupné z: <http://cs.iupui.edu/~tuceryan/pdf-repository/bajura-vrais-95.pdf>.



Obr. 19 - Ukázka dynamické chyby v registraci¹⁰⁹

Zájem o optické HMD systémy, především monokulární, se odráží v rostoucí nabídce různých řešení pro komerční oblast (např. Google Glass, Vuzix M200AR¹¹⁰ či AiRScouter). Je nutné podotknout, že monokulární systémy díky tomu, že uživatel k nahlížení reálného prostředí používá primárně oko, pro které není prezentována virtuální složka, nenabízejí takový komfort a přirozenost uživateli při vnímání rozšířené reality. Často bývají tato zařízení využívána k zobrazení informací, které sice souvisejí s okolní realitou, ale nelze hovořit o poskytnutí rozšířené reality (informace o počasí, času, příchozí SMS atd.).



Obr. 20 - Binokulární optický HMD systém - STAR 1200XLD¹¹¹

Video HMD systémy

Hlavní technický rozdíl oproti optickým HMD systémům spočívá ve využití „klasického“ neprůhledného displeje (nejčastěji LCD a OLED), což zamezuje percepci okolního prostředí (skrze tento displej). Systémy pracující s rekonstrukcí reálné složky (video systémy AR) fungují na

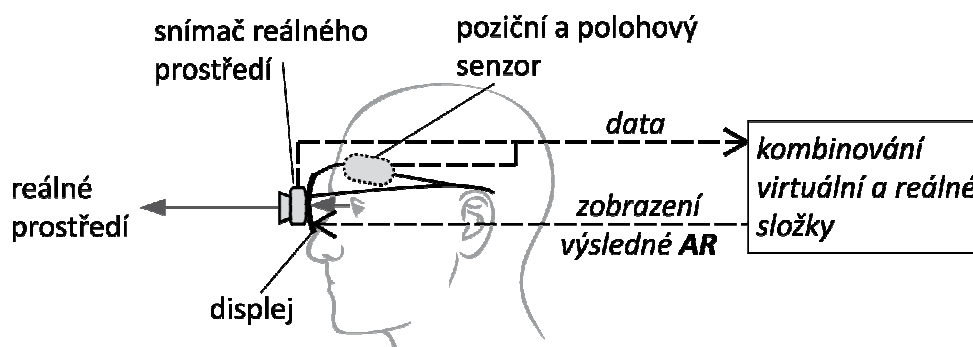
¹⁰⁹ Převzato z: KALKOFEN, David, et al. *Comprehensible Visualization for Augmented Reality*. In IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS, 2009. ISBN 1077-2626. pp. 193-204.[online] Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/ieeepilot/articles/02/ttg2009020193/article.html>.

¹¹⁰ M2000AR. *Vuzix* [online]. 2013 [cit. 2014-03-19]. Dostupné z: http://www.vuzix.com/consumer/products_m2000ar/.

¹¹¹ STAR 1200XLD. *Vuzix* [online]. 2013 [cit. 2014-03-19]. Dostupné z: http://www.vuzix.com/augmented-reality/products_star1200xld/.

principu vytvoření obrazu reálného prostředí pomocí snímání kamerou, následného smíchání obrazu s počítačem vygenerovanými prvky (virtuální složkou) a výsledného zobrazování této kombinace pomocí displeje.

Video HMD systémy pro snímání vyžadují, aby kamera (u binokulárních systémů dvě kamery) co nejvíce simulovala pohled očí pro zabezpečení realistického vnímání (z hlediska pozice uživatele) reálné složky. Z hlediska technického je důležitá vysoká kvalita rozlišení kamery, snímková frekvence, která by měla odpovídat alespoň 25 fps, a optické parametry, které ovlivňují šíři snímaného pole a případné zkreslení obrazu.



Obr. 21 - Princip video HMD systému AR

V případě monokulárních video systémů je zapotřebí z hlediska percepce rozšířené reality zajistit, aby byl uživateli předkládán buď stejný obraz pro obě oči, nebo pouze pro jedno oko a druhé bylo zatemněno. Současné systémy nejsou schopny zajistit takovou synchronizaci a odpovídající realističnost rekonstruovaného obrazu reality, aby mohl uživatel přijatelně akceptovat obraz pro jedno i druhé oko současně. Kromě zmíněného rozlišení a rozdílného úhlu snímání kamery oproti vnímání okem zde hraje významnou roli zpoždění při vykreslování, které je stále vysoké.¹¹²



Obr. 22 - Binokulární video HMD systém - Wrap 1200DXAR¹¹³

¹¹² ORLAND, Kyle. *How fast does "virtual reality" have to be to look like "actual reality"?*. Ars Technica, 2013. [online]. Dostupné z: <http://arstechnica.com/gaming/2013/01/how-fast-does-virtual-reality-have-to-be-to-look-like-actual-reality/>.

¹¹³ Převzato z: Wrap 1200DXAR. Vuzix [online]. 2013 [cit. 2014-03-19]. Dostupné z: http://www.vuzix.com/augmented-reality/products_wrap1200dxar/.

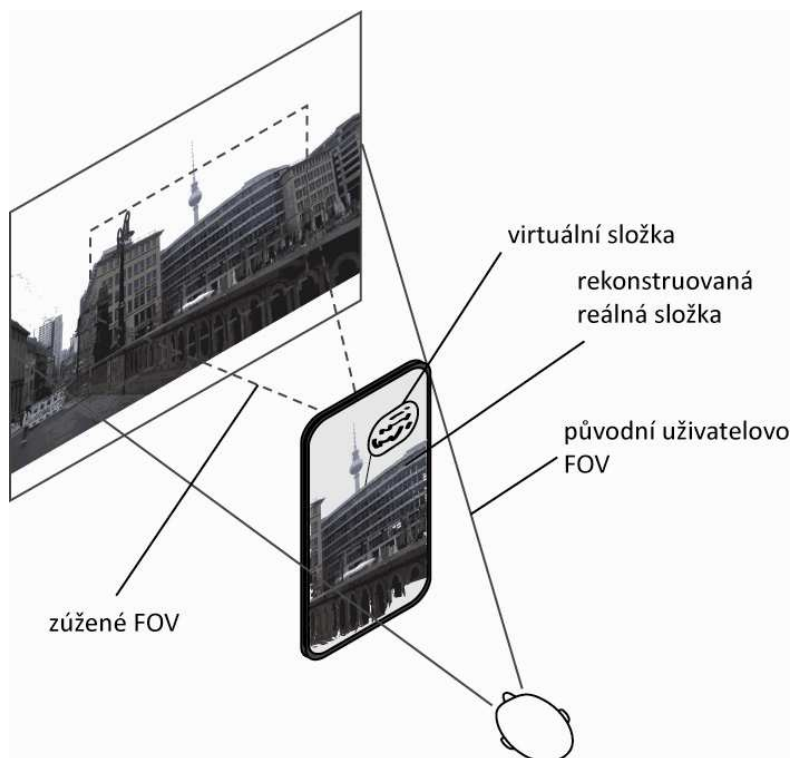
Video systémy nemají obecně problém s dynamickou chybou při registraci, a to díky tomu, že registrace probíhá na základě již digitalizovaného snímaného obrazu a obě složky AR jsou posléze zkombinovány ještě před jejich projekcí, resp. percepcí. Chyby registrace jsou tak především statického rázu.

Mobilní zařízení

Mobilní technologie jsou velmi širokou a oblíbenou oblastí technických zařízení pro aplikace rozšířené reality. S příchodem chytrých telefonů a tabletů, které se stále více přibližují svým výkonem úrovni běžných kancelářských notebooků či počítačů, mají dostatečnou kapacitou a jsou vybavené dalšími potřebnými vstupně výstupními zařízeními (kamera, GPS, gyroskop aj.), se rozrostla oblast aplikací AR nejvíce právě pro tyto technologie. Hlavní přednosti této skupiny technologií z hlediska využití pro rozšířenou realitu lze spatřit v jejich finanční dostupnosti, mobilitě a cílení na práci s multimediálním obsahem¹¹⁴, pro což jsou většinou vybaveny vhodnými senzory, kamerou dostatečné kvality pro potřeby rozšířené reality a displejem (převážně dotykovým) umožňující plnobarevné zobrazení.

Mobilní systémy AR je možné vymezit v rámci ostatních systémů AR nejlépe z hlediska mobility a pozice vůči rozšířené realitě a vůči uživateli. Systémy umožňují prakticky neomezenou mobilitu uživatele vůči rozšířené realitě podobně jako HMD a většinou nevyžadují konektivitu k externímu počítači pro zpracování dat. Oproti HMD se vyznačují tím, že pozici zařízení vůči sobě si může uživatel bez větších problémů přizpůsobit. Rovněž jsou vybaveny displejem, který je velikostně i technicky koncipován pro použití ve větší vzdálenosti od očí než HMD. Pro zajištění kontinuální percepce rozšířené reality je uživatel nucen zajistit stálou pozici zařízení mezi ním a nahlíženou realitou. Mobilní systémy z principu nedokáží zcela odstínit okolní realitu od rozšířené a radikálně snižují zorné pole uživatele.

¹¹⁴ V této souvislosti lze hovořit především o pořizování multimediálních dat (fotografování, natáčení videa a snímání zvuku) a jejich prezentaci, a to hlavně ve spojení s chytrými telefony a tablety.



Obr. 23 - Princip mobilních systémů AR s náznakem redukce FOV

Reálná složka je u mobilních systémů AR rekonstruována v zařízení (TH-K3), a jedná se tak o systémy zprostředkovávající *neúplnou AR*. Použití těchto systémů pro rozšířenou realitu je často spojováno s termíny *magické zrcadlo* a *magické okno*, což odráží jejich technické provedení, kdy kamera i displej jsou spolu pevně spojené a leží víceméně na společné ose mezi uživatelem a nahlíženou realitou (při použití zadní kamery), resp. zrcadlí uživateli realitu při použití přední kamery. Tato označení také vychází z podobnosti se skutečným oknem a zrcadlem, a to především díky míře odstupů uživatele od zařízení a jasně vymezenému výřezu okolní reality, kterou mobilní systém zachycuje a zprostředkovává uživateli podobně jako při pohledu do okna či zrcadla.

Díky své mobilitě a všestrannosti z hlediska vybavení mohou zajišťovat mobilní systémy rozšířenou realitu s využitím analýzy obrazu (řídící prvek v podobě TH-P1 či TH-P2) nebo na základě parametru uživatele (TH-P3), případně v kombinaci obojího. V prvním případě je vytváření rozšířené reality podobné principu video HMD systémů; zařízení analyzuje obraz snímáný kamerou. V druhém případě systém využívá data z prostorových a polohových senzorů a na jejich základě registruje virtuální složku. Prakticky veškeré moderní mobilní systémy (chytřé telefony a tablety) jsou vybaveny technologií GPS, gyroskopem, akcelerometrem a kompasem pro zjištění orientace zařízení. Tyto senzory se zpravidla vyznačují určitou nepřesností či zpožděním při poskytování údajů, resp. zaznamenání změny. U zjišťování fyzické polohy pomocí technologie GPS

je nutné předpokládat odchylku v řádu až několika metrů (u civilní části navigace může být odchylka až 7,5 m, u vojenské pak kolem 1,5 m)¹¹⁵. Kombinace gyroskopu, akcelerometru a kompasu, které zajišťují informaci o orientaci zařízení, pracuje díky technické konstrukci jednotlivých prvků (při použití v mobilních zařízeních) se zpožděním, které nelze zcela eliminovat. Proto je nutné počítat při použití polohových senzorů se zpožděním, které má dopad hlavně na dynamickou chybu při registraci virtuálních prvků.

V poslední době se objevuje alternativní způsob určení pozice zařízení založený na využití magnetického pole Země, zejména v prostorách, kde není možné využít GPS. Tato metoda je inspirována způsobem určování polohy u některých zvířat. Každé místo na Zemi vykazuje specifické magnetické pole, které je zařízení schopné zaznamenat a identifikovat dané místo vůči databázi existujících údajů, která musí být předem vytvořena.¹¹⁶



Obr. 24 - Znárodnění magnetického pole uvnitř budovy¹¹⁷

Mobilní systémy AR jsou typicky jednouživatelské, a to zejména z hlediska interakce a manipulace se systémem. Oproti HMD systémům nabízejí pozorování jimi poskytované rozšířené reality z více míst současně a je možné je považovat za limitovaně víceuživatelské. Omezení spočívá hlavně v možnosti interakce se systémem (zpravidla pouze jeden uživatel v jednom momentě), kontroly umístění zařízení pouze jedním uživatelem, který je zařízením vybaven, a malým pozorovacím úhlem s relativně malou pozorovací vzdáleností, což umožňuje práci pouze pro malé skupiny (většinou dvojice až trojice).

¹¹⁵ ČÁBELKA, Miroslav. *Úvod do GPS*. Praha: Akademie kosmických technologií, Oblast Galileo, GMES, 2008. 73 str. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/vyuka/gps/skriptum-uvod-do-gps/view>.

¹¹⁶ LOHMANN, Kenneth J., et al. Magnetic maps in animals: nature's GPS. In *The Journal of Experimental Biology* 210. The Company of Biologists: 2007. p. 3697-3705. Dostupné z: <http://jeb.biologists.org/content/210/21/3697>.

¹¹⁷ Převzato z: INDOORATLAS LTD. *Ambient magnetic field-based indoor location technology: Bringing the compass to the next level*. 2012, 5 s. Dostupné z: <http://web.indooratlas.com/web/WhitePaper.pdf>.

Interakce u mobilních systémů je většinou na velmi vysoké úrovni z hlediska technické podpory, neboť displej zařízení je zpravidla dotykový a k dispozici jsou případně i další ovládací prvky přímo na zařízení. Podobně jako u HMD systémů může uživatel zahrnout do nahlížené reality i části svého těla, i když v omezenější míře (musí zařízení držet a je od něho ve větší vzdálenosti).

Plnou prostorovost mobilní systémy AR zpravidla neposkytují, ale umožňují zobrazovat virtuální složku ve 3D a je tak možné hovořit o 2,5D prostorovém zobrazení. Je možné uvažovat vybavení daného zařízení stereoskopickým displejem, což by umožnilo plné 3D zobrazení, nicméně mobilní zařízení nejsou vybavena dvěma kamerami, tudíž nelze očekávat plné 3D zobrazení pro reálnou složku. V případě stereoskopického displeje je rovněž velký nárok na přesné pozorovací místo pro zajištění požadovaného efektu.

Díky pokroku v minimalizaci projekčních zařízení je možné očekávat v blízké budoucnosti vybavenost těchto systémů mini projektorem zabudovaným do zařízení (např. mobilní telefon Logic Bolt¹¹⁸), což by umožnilo vytváření rozšířené reality s projekcí do reálného prostředí bez nutnosti rekonstrukce reálné složky a nahlížení výsledné rozšířené reality přes displej. Technickým problémem však stále zůstává množství energie pro zajištění dostatečného výkonu mikro projektoru z hlediska svítivosti pro potřeby rozšířené reality, kterou malá mobilní zařízení nejsou schopna dosud zajistit.



Obr. 25 - Příklad použití mikro projektoru zabudovaného v mobilním telefonu¹¹⁹

Mezi hlavní zástupce mobilních systémů AR patří tablety, chytré telefony a zařízení PDA. Tato zařízení se liší hlavně ve výkonu a z hlediska obecného využití. Tablety se svým výkonem nejvíce blíží notebookům a jsou určeny pro náročnější práci s daty a multimediálním obsahem. Předností

¹¹⁸ SEIFF, Abby. First Cell Phone With Built-In Projector. *Popular science* [online]. 2009 [cit. 2014-03-26]. Dostupné z: <http://www.popsci.com/gear-amp-gadgets/article/2009-01/first-cell-phone-built-projector>.

¹¹⁹ Převzato z: http://www.dailygalaxy.com/my_weblog/2008/01/cell-phone-proj.html.

tabletů oproti ostatním mobilním zařízením je jejich velikost, což umožňuje komfortní interakci pomocí dotykového displeje, který bývá minimálně 7palcový a s rozlišením 1280x600DPI a vyšším. Pro využití tabletů pro rozšířenou realitu je vhodné, aby byly vybaveny přední i zadní kamerou, což se u většiny výrobců a typů děje. Díky dobré hardwarové podpoře¹²⁰ jsou tablety schopné pracovat se složitější strukturou virtuální složky (např. 3D modely s kvalitními texturami) a zvládají vykreslovat rozšířenou realitu v relativně dobré obrazové kvalitě. Jejich velikost je ovšem rovněž jejich nevýhodou, neboť mají vyšší hmotnost a mohou při práci uživatele více omezovat.

Chytré telefony jsou primárně určeny ke komunikaci, rozměrem jsou menší a nemají takový výkon jako tablety, i když mohou mít téměř shodné vybavení z hlediska polohových a prostorových senzorů a kamer. Díky menší velikosti displeje jsou podobně jako PDA vhodnější spíše pro jedinouživatelské použití. Chytré telefony i tablety nabízejí většinou značnou flexibilitu z hlediska použitelnosti obecně. Hodí se proto pro různé typy a aplikace AR, někdy ale na úkor výkonnosti kvůli současnému zatížení zařízení jinými aplikacemi.

PDA (Personal Digital Assistant) je možné považovat v rámci využití pro rozšířenou realitu za zařízení se specifickým záměrem užití, u něhož jsou zajištěné pouze takové funkce, které umožňují aplikovat rozšířenou realitu. Ačkoliv je termín PDA používán obecněji pro tzv. kapesní počítač, který je v současné době překonaný (především díky chytrým telefonům), v kontextu dělení mobilních systémů AR označuje tento termín zařízení, která jsou často vytvořena pro konkrétní typ aplikace AR, nebo se jedná o jiné mobilní zařízení upravené pro tyto potřeby. Z tohoto důvodu mohou být vybavena takovým hardwarem o patřičném výkonu, který splní požadavky dané aplikace na systém AR. Díky tomu mohou systémy PDA v mnoha případech redukovat spotřebu energie, hmotnost a velikost zařízení.

¹²⁰ Tablety jsou zpravidla dobře vybaveny po stránce operační paměti, rychlosti procesoru a kapacity úložiště (včetně slotu pro externí SD kartu) tak, aby zvládaly základní kancelářské operace a práci s multimediálním obsahem na dostatečné úrovni z pohledu uživatele.



Obr. 26 - Využití PDA pro rozšířenou realitu¹²¹

Stacionární systémy

Hlavním charakteristickým znakem stacionárních systémů je způsob, jakým zprostředkovávají uživateli rozšířenou realitu z hlediska mobility systému, resp. mobility uživatele, z hlediska vymezení lokace pro nahlížení rozšířené reality a možnosti manipulace se systémem. Stacionární systémy jsou předurčeny k použití bez nutnosti manipulace ze strany uživatele (ve smyslu přemísťování celého systému při pohybu uživatele). Obecně lze říci, že se vyznačují relativně vysokou robustností oproti mobilním a HMD systémům a pro zprostředkování rozšířené reality jsou instalovány na konkrétním místě. Z hlediska umístění a polohování pro zajištění požadovaného efektu rozšířené reality se nepřizpůsobují uživateli, ale uživatel se naopak přizpůsobuje jim. Limity v rámci mobility těchto systémů určují také jejich možnosti práce s různými typy řídicí informace, kdy principiálně není možné či smysluplné pracovat s klasickými parametry uživatele, se kterými pracují mobilní a HMD systémy. Ve většině případů systémy pracují s analýzou obrazu (TH-P1 a TH-P2), přičemž si mohou dovolit (díky malým nárokům na minimalizaci velikosti a hmotnosti zařízení) využít kvalitnější a výkonnější dílčí technické prvky pro snímání, registraci a následné zobrazení. Lze tak předpokládat méně technických nedostatků v oblasti registrace (chyby, zpoždění atd.) a obrazově kvalitní zprostředkování AR. Společným parametrem vymezujícím stacionární systémy AR oproti ostatním je také počet uživatelů, pro něž je daný systém určen. Zpravidla je tato oblast systémů určena pro více uživatelů (TH-U2 nebo TH-U3), i když existují ojedinělé případy technických řešení, která jsou jedinouživatelská (např. Spinnstube¹²²). V této souvislosti lze uvažovat daný stacionární systém jako tzv. stolní instalaci, která je určena pro malý počet uživatelů

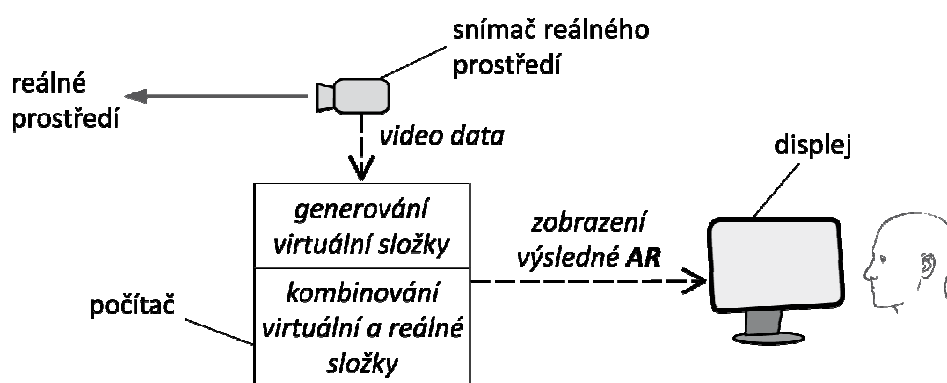
¹²¹ SCHMALSTIEG, Dieter. WAGNER, Daniel. *Experiences with Handheld Augmented Reality*. Dostupné z: http://www.researchgate.net/publication/4334394_Experiences_with_Handheld_Augmented_Reality/file/79e415108eec85f935.pdf.

¹²² WIND, Jürgen. Spinnstube®: a seated augmented reality display system. In *Proceedings of the 13th Eurographics conference on Virtual Environments*. Eurographics Association: Switzerland, 2007. s. 17 - 23. ISBN: 978-3-905674-02-6.

s velmi nízkou možností pohybu uživatele nebo jako prostornou instalaci určenou pro větší skupinu uživatelů s možností jejich volnějšího pohybu.¹²³ Stolní instalace principiálně nabízejí uživateli větší míru interakce, neboť fyzicky je systém uživateli přístupný a nachází se v jeho dosahu (využití např. klasických ovládacích vstupních zařízení u počítače, dotykových displejů apod.). Přímá interakce se systémy v rámci prostorných instalací je často nemožná nebo velmi problematická. Pro její případné zajištění se většinou využívá ovládacích prvků s bezdrátovým připojením k hlavnímu počítači, většinou je však interakce zajištěna pouze skrze manipulaci s řídicími prvky v reálném prostředí. Další charakteristické technologicko-funkční vlastnosti jsou u jednotlivých typů či skupin stacionárních systémů různé. Na základě způsobu zprostředkování rozšířené reality, resp. z hlediska konfigurace složek AR (TH-K1) lze stacionární systémy rozdělit do tří základních skupin na video systémy, optické systémy a systémy s projekcí do reálného prostředí.

Stacionární video systémy

Konfigurace obou složek AR v technickém zařízení (TH-K3) je hlavní hledisko, které určuje princip a ovlivňuje technologicko-funkční možnosti stacionárních video systémů. Rozšířená realita ve spojení s použitím tohoto typu stacionárních systémů bývá označována jako *monitor-based AR*, kde systém AR se nejčastěji skládá ze tří většinou samostatných hardwarových komponent zajišťujících fungování rozšířené reality: kamera (webkamera), počítač a monitor. V závislosti na počtu uživatelů, pro které má být AR zprostředkována, může být monitor pak nahrazen zobrazením pro větší skupinu, např. velkoplošnou projekcí. S příchodem zařízení jako notebooky, netbooky či hybridní tablety¹²⁴ se staly tyto komponenty prakticky standardním vybavením, a to v rámci jednoho samostatného zařízení. Z hlediska dostupnosti lze považovat tyto systémy za nejrozšířenější a ekonomicky nejprístupnější.



Obr. 27 - Princip stacionárního video systému

¹²³ Dělení stacionárních systémů na stolní a prostorové instalace je nutné chápat pouze jako orientační a oba případy vidět spíše jako meze víceuživatelského kontinua.

¹²⁴ Hybridní tablet je termín užívaný pro notebook s dotykovým displejem, který bývá často odnímatelný a plní tak rovněž funkci tabletu.

Stacionární video systémy nabízejí oproti ostatním stacionárním systémům zprostředkování všech typů rozšířené reality z výsledkového hlediska pocitu účasti, ačkoliv doménou jejich využití je především rozšířená realita s účastnictvím uživatele. V této souvislosti závisí možnosti systémů na tom, zda je možné měnit vzájemnou pozici kamery a monitoru z hlediska směru pozorování uživatele a směru snímání kamery (např. samostatná webkamera i monitor v kombinaci s PC), či nikoliv (pevné spojení kamery a monitoru např. u notebooku). To ovlivňuje rovněž možnosti interakce uživatele se systémem. V případě, kdy dovoluje systém uživateli manipulovat samostatně kamerou, tedy měnit pozici, ze které je reálná složka snímána při zachování místa zobrazení, může tak uživatel volit perspektivu pohledu na rozšířenou realitu, a tím ovlivňovat její podobu. V opačném případě může být perspektiva měněna pouze skrze manipulaci řídicí informace v reálném prostředí, což však nemusí být vždy možné.

Zprostředkování prostorové rozšířené reality u stacionárních video systémů je závislé na obecných možnostech daného systému zajistit prostorové zobrazení. Za předpokladu dostatečného programového vybavení je 2,5D zobrazení ve standardních možnostech všech stacionárních video systémů. Pro zajištění 3D zobrazení (PH-V-P3) s použitím projekčního plátna či víceuživatelského monitoru (práce v tomto kontextu neuvažuje např. zobrazovací displeje u HMD) existuje řada technologií prostorového zobrazení, které spadají do skupiny paralaktického zobrazení. Obecně lze rozdělit tyto technologie paralaktického zobrazení na ty, jež vyžadují ke správnému zobrazení speciální vybavení pro uživatele (typicky speciální brýle pro anaglyf, aktivní stereoskopii apod.) a ty, co zajišťují prostorové zobrazení bez nutnosti speciální pomůcky (např. autostereoskopické displeje). Prostorové paralaktické zobrazení pro více uživatelů má určitá omezení, především v tom, že zobrazení je vytvářeno právě pro jedno pozorovací místo. Proto např. v případě více uživatelů u monitoru může docházet ke snížení komfortu a rozdílnému vnímání u skupiny uživatelů.¹²⁵

Stacionární optické systémy

Stacionární optické systémy pracují na principu zobrazení pouze virtuální složky na polopropustném displeji, přes který uživatel přímo percipuje primární reálné prostředí. Konfigurace jednotlivých složek AR a jejich percepce je podobná jako u HMD optických systémů, nicméně vzhledem k rozdílným obecným vlastnostem stacionárních systémů oproti HMD se tyto systémy potýkají s větším problémem v rámci registrace. Stacionární optické systémy musí při registraci a následném zobrazení virtuálních prvků zohledňovat pozici očí uživatele vůči zobrazovací ploše

¹²⁵ PROKÝŠEK, Miloš. *Didaktické aspekty využití prostorového zobrazování*. Univerzita Karlova v Praze Pedagogická fakulta, 2012. Disertační práce. Univerzita Karlova v Praze, Pedagogická fakulta, Katedra informačních technologií a technické výchovy. s. 41.

a reálnému prostředí. Změna pozice uživatele mění úhel pohledu na primární reálné prostředí skrze polopropustný displej a systém musí tuto změnu reflektovat v podobě upravení registrace a vykreslení virtuální složky. Musí proto znát pozici, odkud se uživatel dívá, tzn., že musí být vybaven zařízením pro trackování uživatele. Vzhledem k tomuto problému a vysokým nákladům pro zajištění velkoplošné instalace, kde by díky výrazně větší vzdálenosti uživatelů od displeje v porovnání se vzdáleností displeje od reálného prostředí tento efekt byl zanedbatelný, jsou stacionární optické systémy většinou jednouživatelské, případně limitovaně víceuživatelské.

Např. zařízení Spinnstube¹²⁶ využívá kromě detekce objektů ve snímaném reálném prostředí také detekci polohy a pohybu hlavy za využití speciálních brýlí (rovněž umožňují stereoskopické zobrazení) a patřičných senzorů. Systém Spinnstube je příklad optického stacionárního systému, který umožňuje plně prostorové zobrazení (3D), je jednouživatelský (v případě instalace na obrázku Obr. 28 dovoluje práci ve dvojicích) a dovoluje interakci jak se samotným systémem, tak s prvky s řídicími informacemi v reálném prostředí.



Obr. 28 - Systém Spinnstube¹²⁷

Mezi další zobrazovací zařízení, která by mohla být využita pro optické systémy AR, patří např. TransScreen od firmy Laser Magic Productions, které využívá zadní projekci na speciální 4 mm tlustou polyesterovou desku a realističnost zobrazení vzhledem k míře zachování průhlednosti zobrazovací plochy vykazuje vysokou kvalitu.

¹²⁶ Spinnstube. *Augmented Reality in School Environments*. [online]. Dostupné z: <http://www.arise-project.org/index.php?id=190>.

¹²⁷ Převzato z: PRIBENAU, Costin, et al. *D5.1-U1 Usability Evaluation – Summer School 2006*. ARISE, Augmented Reality in School Environment. 2006.



Obr. 29 - Ukázka použití technologie TransScreen¹²⁸

Společnou negativní vlastností stacionárních optických systémů zůstává požadavek na minimální okolní osvětlení pro dosažení co nejlepšího zobrazení virtuální složky. Obecně lze charakterizovat stacionární optické systémy jako robustní a konstrukčně složitá zařízení, která doposud nemají uplatnění v širším využití a jsou spíše předmětem experimentů s využitím v rámci laboratorních pokusů a projektů.

Systémy s projekcí do reálného prostředí

Skupina systémů, které zprostředkovávají rozšířenou realitu uživateli přímo bez nutnosti dalších zařízení pro její percepci (TH-K1), je založena na principu vytvoření virtuálního objektu přímo v reálném prostředí, kdy se virtuální objekt shoduje s virtuálním obrazem¹²⁹. Virtuální obraz je registrován na požadovaných souřadnicích v rámci primárního prostředí nezávisle na pozici uživatele vůči rozšířené realitě, což umožňuje plnohodnotné zprostředkování AR pro více uživatelů najednou. Stacionární systémy s projekcí do reálného prostředí lze tak považovat za víceuživatelské systémy poskytující *pravou AR* s umožněním relativně velké mobility uživatele v rámci rozšířené reality. Rozšířená realita zprostředkovaná pomocí těchto systémů se někdy označuje jako prostorová rozšířená realita (SAR – Spatial Augmented Reality).

Technologických řešení přímého zobrazení v prostoru je více¹³⁰ a liší se v kvalitě výsledného zobrazení, zejména z hlediska barevnosti, dynamičnosti obrazu či realističnosti. Pro využití

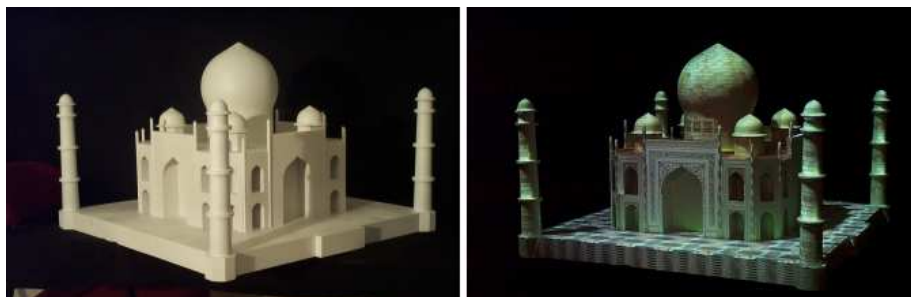
¹²⁸ Převzato z: <http://www.laser-magic.com/transscreen.html>.

¹²⁹ Viz Obr. 2 a kapitola Konfigurace složek rozšířené reality.

¹³⁰ Problematice technologických řešení přímého zobrazení v prostoru se zabývá např. Prokýšek (PROKÝŠEK, Miloš. *Didaktické aspekty využití prostorového zobrazování*. Univerzita Karlova v Praze Pedagogická fakulta, 2012. Disertační práce. Univerzita Karlova v Praze, Pedagogická fakulta, Katedra informačních technologií a technické výchovy. s. 57-68).

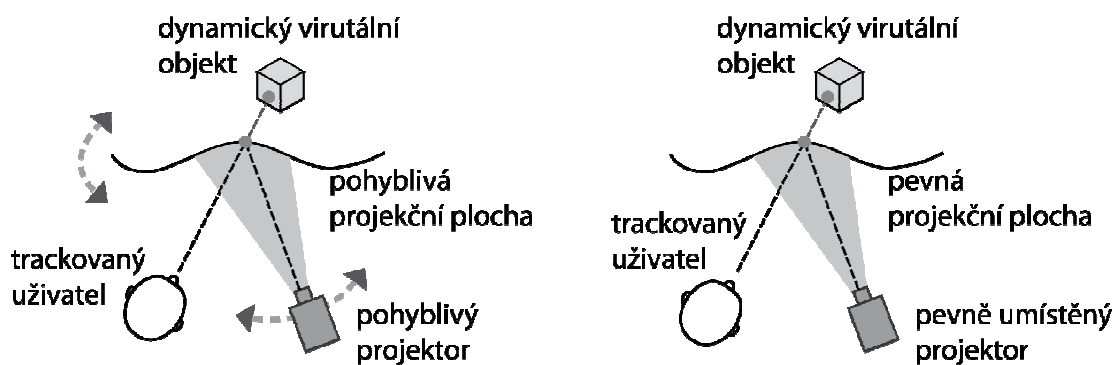
v systémech pro rozšířenou realitu jsou však vhodná pouze některá řešení, která lze rozdělit dle technologického principu na systémy s projekcí na reálný objekt a systémy s projekcí do prostoru.

Systémy s projekcí na reálný objekt mohou využívat klasický datový projektor, ale většinou musí pracovat s prostorovým vykreslováním, resp. projekce musí počítat s nerovným povrchem zobrazení. Virtuální složka v podstatě vytváří novou texturu reálných objektů. Tento princip rozšířené reality, resp. zobrazovacích zařízení AR je nazýván *shader lamp* neboli projekce textury.



Obr. 30 - Ukázka reálného modelu (vlevo) a modelu s nasvícenou texturou (vpravo)¹³¹

Ve zjednodušené formě systém předpokládá statický objekt pro projekci a pracuje pak se statickým projektorem, což však neumožňuje manipulaci s objekty v reálném prostředí. Vhodnější řešení pro aplikaci rozšířené reality, které umožňuje uživateli interagovat s reálným modelem (zejména přesun), je využití pohyblivého projektoru (viz Obr. 31).



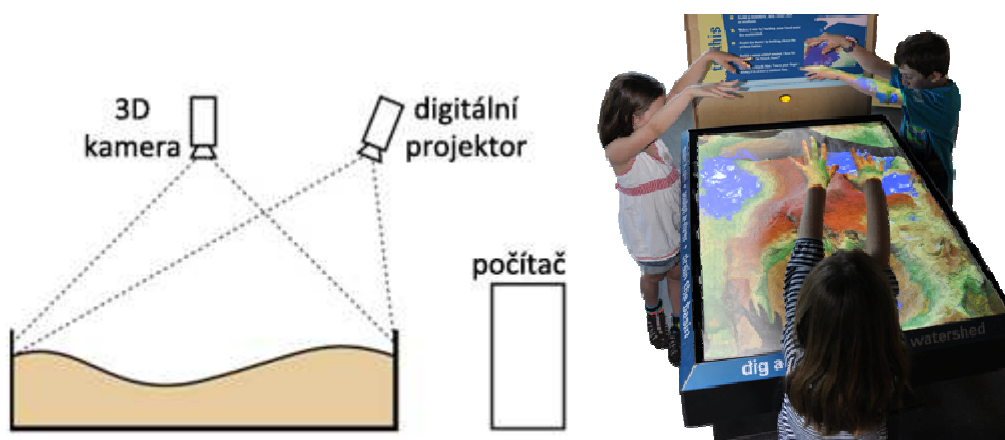
Obr. 31 - Projekce na reálný objekt s pohyblivým projektorem (vlevo) a s pozičně pevně umístěným projektorem (vpravo)¹³²

¹³¹ Převzato z: RASKAR, Remesh, et al. *Shader Lamps: Animating Real Objects With Image-Based Illumination*. Dostupné z: <http://web.media.mit.edu/~raskar/Shaderlamps/shaderlampsRaskar01.pdf>.

¹³² Převzato z: BIMBER, Oliver, RASKAR, Ramash. *Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds*. A K Peters, 2005. ISBN 1-56881-230-2. s. 283.

Jak uvádí Raskar¹³³, oproti tradičnímu grafickému prostorovému zobrazení nebo zobrazení pomocí HMD, kde dochází oproti percepci reálného prostředí k redukci na úrovni zobrazovací frekvence a rozlišení, dosahuje *shader lamp* kvalitnějších výsledků s redukcí pouze v oblasti přidané barevné informace.

Na principu vykreslení textury se statickým projektorem pracuje systém nazvaný Augmented Reality Sandbox (ARS). Kromě interakce s reálným prostředím (pískem) umožňuje interakci pomocí pohybů a gest nad vymezeným prostorem zařízení (viz Obr. 32 vpravo). Specifičnost tohoto zařízení spočívá v povaze primární řídicí informace, se kterou ARS pracuje, což je hloubka, resp. vzdálenost jednotlivých bodů v rámci celého interaktivního boxu od snímací kamery. ARS je možné považovat za vysoce interaktivní víceuživatelský systém AR.



Obr. 32 - Princip Augmented Reality Sandbox (vlevo)¹³⁴ a ukázka interakce s tímto zařízením (vpravo)¹³⁵

Projekci do volného prostoru je svým technologickým principem asi nejbližší holografická projekce. V určitých případech je možné provést rekonstrukci hologramu s vytvořením reálného obrazu virtuální složky, tedy mezi hologramem a uživatelem.¹³⁶ Širší využití holografické projekce zatím není a jednotlivá řešení jsou spíše ve fázi projektů či nákladných instalací. Problémy, se kterými se rekonstrukce hologramů pro možné využití v rámci rozšířené reality potýká, jsou hlavně vysoké náklady a dosažení dynamické a plně barevné reprodukce. Mezi zajímavé projekty z hlediska uplatnění hologramu pro rozšířenou realitu patří např. 3D Holographic Projection¹³⁷ od firmy AV Concepts. Dalšími technologiemi, které využívají projekci do prostoru, resp. projekci na specifický

¹³³ RASKAR, Remesh, et al. Shader Lamps: Animating Real Objects With Image-Based Illumination. Dostupné z: <http://web.media.mit.edu/~raskar/Shaderlamps/shaderlampsRaskar01.pdf>.

¹³⁴ Převzato z: http://www.nsf.gov/news/mmg/mmg_disp.jsp?med_id=75573.

¹³⁵ Převzato z: http://terc.ucdavis.edu/education_outreach/educationcenter/sandbox.html.

¹³⁶ OUTWATER, Christopher, HAMERSVELD, Van. *Practical Holography*. [online][citace 28.3.2014]. Dostupné z: <http://www.holo.com/holo//book/book5.html#realv>.

¹³⁷ AV Concepts: 3D Holographic Projection. Dostupné z: <http://www.avconcepts.com/holographic-projection/>.

plynný materiál ve formě vodní páry či mlhy je např. FogScreen.¹³⁸ Oproti systémům s projekcí na reálný objekt nejsou systémy s projekcí do prostoru limitované tvarem a zakřiveností reálného prostředí. Vzhledem k technické náročnosti těchto systémů nelze v blízké době předpokládat jejich reálné využití.

3.5 Didaktická specifika rozšířené reality

Z hlediska využití rozšířené reality ve vzdělávání je možné nalézt další hlediska rozšířené reality, která jsou obecnějšího rázu a mohou částečně vycházet z technologických, percepčních či výsledných hledisek. Jelikož se tato hlediska vztahují jak k systémům AR, tak aplikacím, resp. výsledné rozšířené realitě, není možné je jednoduše začlenit do výše uvedené struktury hledisek a v závislosti na funkčně organizační formě aplikace rozšířené reality může být naplnění těchto hledisek ze strany jednotlivých technických řešení proměnlivé. Jejich význam narůstá především ve vztahu k níže definovaným didaktickým specifickým rozšířené reality a při vybírání vhodných technologicko-funkčních řešení rozšířené reality v edukačním procesu.

Mezi tato hlediska je možné řadit mobilitu, která charakterizuje za prvé konkrétní zařízení z pohledu jeho použití v různých podmínkách, za druhé možnost pohybu uživatele s daným zařízením či v prostředí rozšířené reality. Některé systémy zcela postrádají mobilitu (např. stacionární systémy) a uživatel je zcela odkázán na konkrétní místo (s přihlédnutím k technologickému hledisku počtu uživatelů) pro využití rozšířené reality. Jiné systémy umožňují částečnou mobilitu uživatele ve smyslu obcházení prvků rozšířené reality a nahlížení na ně z různých míst a pozic, nicméně vlastní systém AR je rovněž pevně ukotven na jednom místě. Takovými systémy mohou být např. systémy s projekcí do reálného prostředí, ale i systémy HMD, které jsou připojené pomocí kabelu k počítači. Zařízení s plnou mobilitou jsou typicky mobilní zařízení, případně HMD, které nepotřebují konektivitu k pevně umístěnému počítači. Tyto systémy často přijímají parametr uživatele jako řídicí informaci a jsou s uživatelem více či méně pevně spojeny.

Systémy AR lze rovněž popsat na základě kvality a charakteru prezentace obsahu, přičemž tento pohled do značné míry vychází z percepčních hledisek. Opírá se přitom nejen o uvedené percepční charakteristiky, ale také např. o rozlišení obrazu, velikost percepčního pole, které uživateli nabízí, chyby v rámci registrace virtuální složky a další parametry související s percepcí vzniklé rozšířené reality. V tomto kontextu ovlivňuje kvalitu prezentace také preciznost systému, resp. jeho schopnost eliminovat chyby související s procesem kombinace reálných a virtuálních prvků do prostorově a

¹³⁸ *FogScreen Projection Screen*. Dostupné z: <http://www.fogscreen.com/products/>.

časově jednotného celku. Problémy, které souvisí s chybovostí systémů, byly diskutovány v mnoha technicky orientovaných pracích zaměřených na rozšířenou realitu^{139, 140, 141} a patří mezi ně např. problém registrace (nepřesné vykreslení virtuální složky z hlediska koordinátů reálného prostředí), zpoždění (opožděná prezentace jedné či obou složek AR uvnitř zařízení) a problematika kolize virtuálních objektů s reálným prostředím¹⁴². Zejména u prvních dvou jmenovaných problémů úzce souvisí míra náchylnosti systémů k těmto chybám s technologickým hlediskem Konfigurace složek rozšířené reality (TH-K). Systémy, u nichž je virtuální složka percipována skrze zařízení, jsou náchylnější ke zpoždění prezentace obsahu, případně k chybné registraci v případě percepce reálné složky přímo (systém nestačí reagovat na rychlé změny řídicích informací, např. při rychlém pohybu s mobilním zařízením, a v takových případech je registrace nepřesná). Tento problém nastává především u systémů pracujících s GPS a mechanickými senzory (akcelerometr a gyroskop v mobilních zařízeních), které díky technické konstrukci těchto senzorů nemohou potřebně minimalizovat svou reakční dobu. Podobně je tomu u systémů založených na snímání a analýze obrazu, kdy z důvodu snížení nároků na výpočetní výkon není obraz snímán a analyzován v dostatečné snímkové frekvenci. Ve skutečnosti je vznik těchto chyb z technického hlediska mnohem komplikovanější a v rámci různých technických řešení ho ovlivňují různí činitelé v součinnosti se základním programovým vybavením daných systémů¹⁴³. Pro zabezpečení správné kolize objektů je zapotřebí, aby systém měl v první řadě informaci o 3D pozici reálného objektu, vůči kterému může následně porovnat pozici virtuálního objektu. Tento proces se děje buď na základě přístupu založeném na pozici reálného objektu, nebo na základě hloubkové mapy reálného prostředí, vůči které je pozice virtuálního objektu porovnávána.¹⁴⁴ Z toho vyplývá, že k zajištění správné kolize objektů je nutná analýza reálného prostředí ze strany systémů. Určitým způsobem se do hlediska kvality promítá i pravost rozšířené reality (pravá a neúplná), resp. konfigurace složek AR (TH-K), která může mít vliv na omezení percepčního pole uživatele.

¹³⁹ AZUMA, Ronald T. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6 [online]. 1997 [cit. 2013-09-03]. Dostupné z: <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>.

¹⁴⁰ DUNLEAVY, Matt, et al. Affordances and Limitations of Immersive Participatory Augmented Reality Simulations for Teaching and Learning. In *Journal of Science Education and Technology*. 2009. Volume 18, Issue 1, s 7-22. DOI 10.1007/s10956-008-9119-1. s. 16.

¹⁴¹ DRASCIC, David, MILGRAM Paul. Perceptual Issues in Augmented Reality. In *SPIE Volume 2653: Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems III*. San Jose, California, Feb. 1996. s. 123-134.

¹⁴² BREEN, David E., et al. *Interactive Occlusion and Automatic Object Placement for Augmented Reality*. Dostupné z: <http://www.cs.iupui.edu/~tuceryan/AR/eg96.pdf>.

¹⁴³ Komplexně popisuje problémy registrace a jejich příčiny např. AZUMA, Ronald T. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6 [online]. 1997 [cit. 2013-09-03]. Dostupné z: <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>.

¹⁴⁴ BREEN, David E., et al. *Interactive Occlusion and Automatic Object Placement for Augmented Reality*. Dostupné z: <http://www.cs.iupui.edu/~tuceryan/AR/eg96.pdf>.

Didaktické specifikum je považováno za koncept utvářený souhrnem vlastností a možností daného materiálního didaktického prostředku¹⁴⁵, jimiž se z hlediska podpory dosahování výchovně vzdělávacích cílů odlišuje od jiných prostředků. Vlastnosti a možnosti daného didaktického prostředku vycházejí ze specifických technologicko-funkčních, realizačních, percepčních, ergonomických, organizačních a dalších didakticky relevantních aspektů daného prostředku.¹⁴⁶ Z hlediska systému materiálních didaktických prostředků se didaktické specifikum ve svém komplexu vztahuje zejména k technickým výukovým prostředkům¹⁴⁷, nicméně jednotlivé výše formulované didakticky relevantní aspekty lze uvažovat rovněž ve vztahu ke složkám technických výukových prostředků, tedy prostředkům didaktické techniky¹⁴⁸.

V kontextu vymezení didaktického specifika je třeba rozšířenou realitu nejprve zkoumat z širšího pohledu, ve smyslu pojetí rozšířené reality jako obecného druhu didaktického prostředku zahrnujícího specifický výukový prostor či prostředí a příslušné technické prostředky a učební pomůcky ve vazbě k metodám a formám edukace. Následně se práce bude snažit nalézt didaktická specifika konkrétních technických výukových prostředků rozšířené reality, resp. typických technologických řešení pro zprostředkování rozšířené reality ve vzdělávání. Vzhledem ke snaze co nejkompaktněji vymezení rozšířenou realitu v rámci didaktických prostředků budou rovněž zkoumány didakticky relevantní aspekty a vlastnosti systémů rozšířené reality.

Při zkoumání aspektů, z nichž se odvíjejí didaktická specifika rozšířené reality, je zapotřebí vycházet ze skutečnosti, že se nejedná pouze o technický prostředek, ale o celkový technologicko-percepční koncept, který je tvořen systémem AR (technický prostředek) a prostředím AR, ve kterém se žák ocitá, resp. které na něho působí. Současně se zde významně promítá záměr aplikace rozšířené reality jako didaktického prostředku. Didaktické specifikum rozšířené reality tudíž charakterizují jak obecné vlastnosti rozšířené reality jako technologického konceptu, tak technologicko-funkční vlastnosti systémů AR, vlastnosti výsledného prostředí rozšířené reality i samotný záměr či způsob využití rozšířené reality v rámci didaktických situací.

Základní funkcí a zásadním specifikem rozšířené reality v nejobecnějším chápání je schopnost propojit realitu s virtuálními prvky a tyto prvky prezentovat v rámci reálného prostředí. Z hlediska aplikačně-funkčního se jedná o schopnost technického prostředku rozšířené reality zpřístupnit v reálném čase adresátovi realitu záměrně doplněnou o informace, které mohou nabývat povahy

¹⁴⁵ PALOUŠ, Radim. *Didaktika technických výukových zařízení*. Praha: KPÚ, 1969.

¹⁴⁶ NIKL, Jiří. *Technické výukové prostředky*. Hradec Králové : KFy PF UHK, 2002. 61 s. ISBN 80-7083-635-0.

¹⁴⁷ RAMBOUSEK, Vladimír, et al. *Technické výukové prostředky*. 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1989. 302 s., s. 15.

¹⁴⁸ *Ibid.*

interpretační, řídicí, obsahově rozšiřující, imerzivně podněcující aj. za účelem dosažení vytyčených didaktických cílů. Vedle povahy přidané informace, resp. povahy rozšířené reality z hlediska vzájemného vztahu přidané informace a reálného prostředí¹⁴⁹ jsou to především ostatní výsledková hlediska, která významně určují možná didaktická využití rozšířené reality jako materiálního didaktického prostředku.

Hlavní specifika rozšířené reality lze rovněž spatřovat ve způsobu zprostředkování počítka percipované rozšířené reality, kterého by bylo velmi obtížné dosáhnout za pomoci jiných technických prostředků, přičemž tento počíteč, resp. percipovaná virtuální složka je umocněna svou úzkou koexistencí s okolním reálným prostředím. Tato funkce zprostředkovat počíteč zesiluje s narůstající imerzí daného prostředí, což může být ovlivněno vlastním zprostředkovaným obsahem, typem zařízení a kvalitou prezentace daného obsahu účastníkovi. V tomto kontextu využívá rozšířená realita částečně vlastností a funkcí blízkých virtuální realitě, a to především ve vztahu k imerzi, interaktivitě či simulaci jevů a modelových situací, a zároveň vychází z funkcí a didaktických specifik prostředí, ve kterém se s rozšířenou realitou pracuje. Lze tudíž nalézt zřejmé souvislosti didaktických specifik rozšířené reality a didaktických specifik virtuální reality, resp. virtuálního vzdělávacího prostředí.

Klopfer popisuje rozšířenou realitu jako prostředek nabízející studentům zkušenost zažít či pozorovat digitální simulaci v kontextu reálného prostředí.¹⁵⁰ Rozšířená realita umožňuje aplikovat modelové postupy získané v umělém nebo cvičném prostředí v rámci reálného prostředí. To je však částečně závislé na použití zařízení umožňujícího plnou či částečnou mobilitu účastníka (v závislosti na typu didaktické situace), tedy např. mobilního zařízení či HMD. Svou základní funkcí kombinovat reálné a virtuální nabízí rozšířená realita prostředí a jeho percepci s různou mírou informační denzity (sníženou pomocí tzv. vymaskování určitých prvků reálného prostředí či zvýšenou přidáním informačně bohatších prvků), čímž umožňuje korekci kognitivní zátěže účastníka.

Povaha rozšířené reality z hlediska vzájemného vztahu přidané informace a reálného prostředí se odráží v charakteru didaktického aspektu AR, neboť uživatel, resp. žák se ocitá v prostředí, které je záměrně upraveno tak, aby poskytlo vhodné podmínky pro naplnění výukového záměru. Z hlediska povahy AR výrazně narůstá variabilita didaktických možností takto vzniklého prostředí a metod, v rámci kterých může být rozšířená realita využita. Jedná se zejména o rozdílný obsahový význam

¹⁴⁹ Viz výsledkové hledisko Povaha AR v kapitole 3.3.2.

¹⁵⁰ KLOPFER, Eric., SHELDON, Josh. Augmenting your own reality: Student authoring of science-based augmented reality games. *New Directions for Youth Development*, No. 128, 2010, Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company. s. 85-94. DOI: 10.1002/yd.378. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1002/yd.378>.

výsledné AR a jejího emočního působení na žáka oproti původnímu prostředí či samostatně prezentované virtuální informaci.

V rámci upravené rozšířené reality (RH-U1), která se vyznačuje odstraněním určitých informací z percepčního pole uživatele, je možné redukovat emoční působení okolní reality, např. pro postupnou akomodaci žáka na dané prostředí a rovněž je možné předpokládat určitou redukci informační denzity. Z hlediska využitelnosti v rámci didaktických situací se jedná o významnou formu rozšířené reality, kterou je třeba uvažovat zejména v kontextu míry kognitivní zátěže (vnější kognitivní zátěže a kognitivní zátěže podstaty¹⁵¹) výsledného prostředí oproti primárnímu.

U doplněné rozšířené reality (RH-U2) lze předpokládat nárůst míry obsahových informací oproti původnímu prostředí, přičemž virtuální složka významně souvisí s primárním prostředím. Existence přidané informace je teoreticky předpokládatelná, i když nemusí být zcela představitelná či žákovi známá. Z hlediska didaktických metod a funkcí lze v rámci tohoto případu akcentovat především demonstraci reálných prvků, které jsou svou podstatou žákům běžným způsobem percepčně nedostupné, dále pak expozici a fixaci učiva ve spojení se zásadou názornosti naplněné zasazením příslušného virtuálního prvku, jevu či děje do reálného kontextu. Obě výše zmíněné formy AR se zakládají na snaze co nejvíce ponechat podstatu původní reality s cílem tuto realitu více či méně modifikovat. Pro naplnění tohoto záměru se musí tedy AR vyznačovat vysokým obsahem reálné složky (RH-P1) z hlediska poměru reálné a virtuální složky.

Didaktické využití obohacené reality (RH-U3) tkví zejména ve zprostředkování virtuálního obsahu v kontextu skutečnosti, který z důvodu např. historického, geografického, fyzikálního či bezpečnostního není možné, vhodné či ekonomické realizovat způsobem bez využití rozšířené reality. Primární prostředí (reálná složka) může být ve smyslu poměru složek AR téměř zcela potlačeno za účelem zvýšit žákův počitek z vnímání přidané informace. Lze předpokládat, že s rostoucím významem AR z hlediska akcentování virtuální složky, rovněž roste míra zastoupení virtuální složkou směrem k extrému RH-P2 (téměř výhradní zastoupení virtuálními prvky). Tato korelace současně souvisí s obsahovým významem výsledné AR, resp. se záměrem buď spíše obohatit reálné prostředí o nové prvky a poskytnout žákovi nový pohled na jemu známou skutečnost, nebo mu zprostředkovat specifický jev, proces, prostředí či jiný reálně nedosažitelný prvek v kontextu okolního prostředí pro posílení počítka daného prvku. Obsahový význam obohacené reality tak může nabývat až zcela fantaskní povahy zanesením takových prvků do reálného prostředí, které jsou zcela smyšlené nebo z jiného časového či geografického prostoru a

¹⁵¹ *Cognitive Load Theory*. University of South Alabama, Online Learning Laboratory.[online][cit. 11-20-2013]
Dostupné z: http://www.southalabama.edu/oll/mobile/theory_workbook/cognitive_load_theory.htm.

v rámci primárního prostředí jsou jednoznačně nepredikovatelné. Typicky se může jednat o zprostředkování obsahu, který odpovídá na otázku *Jaké by to bylo, kdyby....* Jedním z příkladů využití této formy může být např. výuková AR hra¹⁵². Dále může obohacená realita zprostředkovat reálné situace v rámci daného reálného prostředí, ovšem z jiného časového období, typicky znázornění historické či budoucí podoby daného místa, prezentaci či simulaci historické události, jevu v rámci dané lokace apod. Je zřejmé, že význam virtuální složky v obohacené AR může hrát významnou roli až k extrému hraničícímu s rozšířenou virtualitou. Této skutečnosti lze efektivně využít při dosahování řady didaktických záměrů.

Z hlediska výukového využití rozšířené reality lze na základě výše zmíněných didaktických specifik a aspektů nalézt řadu edukačních záměrů, které předurčují rozšířenou realitu k jejímu využití v roli technického výukového prostředku. Za hlavní výukové funkce společné pro všechny didaktické situace s využitím rozšířené reality lze považovat uzpůsobení míry emočního působení výsledného prostředí rozšířené reality a korekci kognitivní zátěže. Tyto funkce předurčují využití rozšířené reality ve vzdělávání v mnoha rozličných formách a různými způsoby, které je možné s přihlédnutím k výše uvedeným didaktickým aspektům zkoumaným v kontextu výsledkových hledisek sumarizovat do následujících pěti hlavních edukačních záměrů:

1. navýšení informační hodnoty
2. expozice časově a prostorově nesourodých jevů
3. simulace jevů, dějů a procesů
4. osvojování a vytváření kompetencí v modelových situacích
5. řízení činnosti

Pro záměr navýšení informační hodnoty lze uvažovat takové aplikace rozšířené reality, ve kterých jsou žákovi zprostředkovány doplňující informace k reálnému prostředí s cílem navýšit informační hodnotu vnímaného prostředí. Typicky se jedná o informace, které přispějí k jednoznačnější identifikaci daného prvku reálného prostředí. Z hlediska fázi výchovně vzdělávacího procesu naleznou své využití tyto formy rozšířené reality zejména ve fázi expozice a fixace¹⁵³. Didaktická prostředí se v rámci této skupiny vyznačují zvýšenou informační denzitou a svou povahou spadá daná rozšířená realita do kategorie doplněné AR.

Expozice časově nesourodých jevů je charakteristická prezentovaným obsahem, kde virtuální složka leží z hlediska časové osy mimo současnou dobu. Jedná se typicky o zprostředkování

¹⁵² Např. SQUIRE, Kurt D.; MINGFONG, Jan. Mad City Mystery: Developing Scientific Argumentation Skills with a Place-based Augmented Reality Game on Handheld Computers. In *Journal of Science Education and Technology*, Vol. 16, No. 1, February 2007. DOI: 10.1007/s10956-006-9037-z.

¹⁵³ MAŇÁK, Josef; ŠVEC, Vlastimil. *Výukové metody*. Brno: Paido, 2003. ISBN 80-7315-039-5. s. 14.

historických událostí souvisejících s danou lokalitou, resp. okolní realitou či podob dané lokality v časovém kontextu událostí. Důraz je přitom kladen na vysokou míru imerze daného prostředí a žákovo uvědomění si historických souvislostí s danou lokací. Tyto formy rozšířené reality naleznou své uplatnění především v rámci metod motivačních, expozičních a fixačních. Z hlediska obsahu vzdělávání naleznou svá uplatnění (zejména díky tomu, že se vyznačují prezentací jevů a událostí) v rámci širšího pole metod, např. v rámci metody informačně receptivní, metody problémového výkladu či heuristické metody.

Simulace jevů, dějů a procesů se vyznačuje svým primárním důrazem na zvýraznění virtuální složky představující ucelený jev či proces, který by se mohl v mnoha případech použít i samostatně, bez zasazení do kontextu reálného prostředí. Jeho použitím v rámci rozšířené reality je žákovi umožněno lépe vnímat či posoudit problematiku prezentovaného učiva a zároveň poznat nové souvislosti daného jevu v kontextu skutečného prostředí. Je zřejmé, že z pohledu typu poznatků a způsobu získávání vědomostí se jedná především o metody názorně demonstrační¹⁵⁴, které se uplatňují v didaktických situacích s využitím rozšířené reality v kontextu prvních třech kategorií.

Osvojování a vytváření kompetencí v modelových situacích, podobně jako řízení činnosti naleznou své uplatnění spíše pro metody dovednostně praktické. V rámci dosavadních studií, zejména v experimentech v lékařské a vojenské oblasti, je možné nalézt několik pokusů o aplikaci rozšířené reality formou, která se vyznačuje jedním z těchto dvou edukačních záměrů (např. Brown¹⁵⁵, Hughes¹⁵⁶). I na základě tohoto faktu lze považovat nácvik a realizaci dovednostních činností za oblast s velkým potenciálem pro využití rozšířené reality v roli technického výukového prostředku.

Při osvojování a vytváření kompetencí v modelových situacích nabízí rozšířená realita prostředí s vybranou situací, které z důvodu bezpečnosti, složitosti, nedostupnosti, ojedinělosti či dalších organizačních obtíží je složité, případně nemožné realizovat v běžném reálném prostředí. Záměrem takovýchto aplikací je vtáhnout žáka do vytvořené situace s cílem řešit či procvičovat řešení určitého problému, jehož řešení spočívá ve specifické dovednosti, která může mít charakter senzomotorický, rozumový či sociální. Pro tento záměr je důležitá vysoká míra imerze prostředí rozšířené reality a podpora interakce ze strany systému AR. Přitom se může jednat o prostředí s velmi vysokým zastoupením virtuální složky. Oproti čistě virtuálním prostředím disponuje AR benefitem, že nemusí složitě generovat kompletní prostředí s cílem navodit pocit realističnosti, ale

¹⁵⁴ MAŇÁK, Josef; ŠVEC, Vlastimil. *Výukové metody*. Brno: Paido, 2003. ISBN 80-7315-039-5. s. 74.

¹⁵⁵ BROWN, Dennis G., et al. *Augmented Reality for Urban Skills Training*. Dostupné z: <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA495901>.

¹⁵⁶ HUGHES, Charles E., et al. *Mixed Reality in Education, Entertainment and Training*. In *Moving Mixed Reality into the Real World*. IEEE Computer Graphics and Applications, 2005. s. 24 - 30.

využívá prvky okolní reality, čímž zcela přirozeně zvyšuje míru imerze, resp. nepotřebuje tuto imerzi navozovat či vytvářet.

Řízení činnosti v rámci rozšířené reality je vztaženo především k lidským aktivitám, které mají logický průběh v čase s vymezenou následností jednotlivých kroků. Princip řízení v AR spočívá v zanesení navádějící instrukce do reálného prostředí s cílem zefektivnit postup v rámci konkrétní činnosti z hlediska časové náročnosti a kvality, resp. eliminování možných chyb. Instrukce ve formě virtuální složky má nejčastěji podobu textové, znakové či grafické informace (PH-V-CH1 a PH-V-CH2), případně zvukové instrukce, přičemž musí být kladen důraz na maximální čitelnost (zachování podoby) původního prostředí. Daná instrukce musí rovněž být výrazná oproti okolnímu prostředí (velmi nízká míra realističnosti – RH-R2) tak, aby upoutala žákovu pozornost, avšak zároveň nenarušovala jeho koncentraci na prováděnou činnost. V rámci této kategorie aplikací rozšířené reality výrazně dominuje z hlediska poměru reálné a virtuální složky reálná složka a v převážné většině se tak jedná o obohacenou AR (RH-U3).

3.5.1 Didaktická specifika z hlediska technologických aspektů rozšířené reality

Didaktická specifika rozšířené reality, jak již bylo uvedeno výše, jsou do jisté míry odvozená od technologicko-funkčních vlastností technických zařízení, resp. systémů AR. Je zřejmé, že systémy svými parametry a vlastnostmi významně určují kvalitu zprostředkovaného obsahu, komfort žáků při práci s rozšířenou realitou, limity pro využití v rámci různých didaktických situací a obecnou kvalitu podmínek v rámci výukového procesu. Tyto parametry korespondují s technologickými a percepčními hledisky a v určitých aspektech je možné jednotlivé systémy uvažovat v rámci celé skupiny systémů AR vyznačujících se některými společnými či podobnými vlastnostmi. Parametry systémů AR, resp. některá z technologických a percepčních hledisek jsou rovněž významně určující pro výslednou podobu rozšířené reality, a jeví se proto nutné je z hlediska didaktických specifík vymezit vůči příslušným rezultatovým hlediskům.

Konfigurace složek rozšířené reality (TH-K)

Samotný fakt, zda je daná složka percipována přímo či skrze technické zařízení, nemusí být didakticky významně určující. Nicméně z hlediska výběru vhodného zařízení (z důvodu finančních nákladů, dostupnosti, zkušenosti žáků, aj.) může hrát toto hledisko významnou roli. V současné době je mezi běžně dostupnými zařízeními, která umožňují práci s rozšířenou realitou, v podstatě výhradní zastoupení konfigurace obou složek v technickém zařízení (TH-K3). Jedná se především o systémy, se kterými má většina žáků i učitelů zkušenosti, a je možné předpokládat, že v blízké budoucnosti se stanou naprosto běžným personálním vybavením člověka obecně. Volba takových

systémů může minimalizovat tzv. působení novosti daného zařízení na žáky a umožnit větší soustředění na učivo.

Z hlediska imerze ve smyslu „vtáhnutí“ účastníka do vytvářeného prostředí mají systémy, kde je reálná složka percipována přímo (konfigurace TH-K1 a TH-K3), vyšší předpoklad naplnit toto hledisko, neboť percepční pole není nijak technicky limitováno a vnímání reálné složky je prakticky přirozené. Nemusí to však platit u všech typů zařízení, např. pevné systémy bez možnosti mobility svazují uživatele jasně daným vymezeným prostorem, ve kterém může rozšířenou realitu vnímat. U systémů s TH-K3 je tento prostor jasně vymezen a zprostředkován technickým zařízením (ne vždy však musí dojít ke snížení percepčního pole). Naproti tomu systémy s TH-K3 jako jediné umožňují zprostředkovat okolní realitu, která je bez technického prostředku člověku percepčně nedostupná, a umožňují tak např. aktivní účast v rozšířené realitě (RH-PU3), což může zvýšit míru sociální imerze.

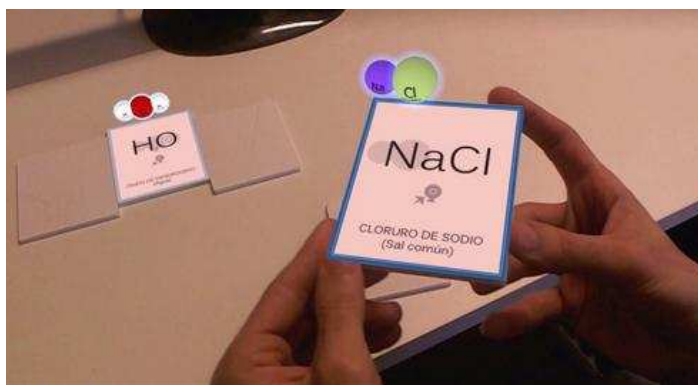
Systémy s konfigurací TH-K2 využívají prakticky ve všech případech princip zobrazení virtuální složky na polopropustném displeji, skrze který proniká obraz reálného prostředí k receptorům. V závislosti na kvalitě technického provedení, které se logicky odráží i v ceně daného zařízení, je více či méně redukována jasová, případně i barevná složka vnímaného reálného obrazu. Při snaze o docílení vizuálního splynutí virtuální a reálné složky musí systémy redukovat tyto parametry virtuálního obrazu, čímž může docházet ke snižování didaktické působení předkládaného obsahu. Tento jev se částečně vyhýbá některým monokulárním systémům, resp. situace z tohoto hlediska je komplikovanější o to, že jedním okem vnímá uživatel pouze reálnou složku v její skutečné podobě, druhým pak redukovane, podobně jako u binokulárních systémů.

Další charakteristikou systémů s konfigurací TH-K3 je možnost modifikovat optické parametry zprostředkovaného obrazu, resp. zvětšení do optimální velikosti či upravit proporce, čímž je možné vyčlenit nežádoucí prvky z jinak širokého percepčního pole uživatele.

Povaha řídicí informace (TH-P)

Povaha řídicí informace, se kterou jsou systémy AR schopny pracovat, významně určuje možnosti jejich didaktického využití, a to především v rovině realizačně organizační. Rozšířená realita pracující s parametrem reálného prostředí (TH-P1) či parametrem uživatele (TH-P3) nezatěžuje podmínky svého využití potřebou dalších materiálních prostředků primárně se nevyskytujících v reálném prostředí pro své fungování. Oproti tomu výhody využití parametru v podobě záměrně zaneseného artefaktu (TH-P2) tkví v možnosti zvolit za řídicí parametr didakticky vhodný artefakt, který je vhodně uzpůsoben vzhledem k výukovému obsahu rozšířené reality, podmínkám didaktické

situace a zamýšleného cíle, čímž se stává vedle řídicího parametru také učební pomůckou (viz příklad na Obr. 33).



Obr. 33 - Artefakt s řídicí informací jako učební pomůcka¹⁵⁷

Při uvažování o využití artefaktů je však důležité mít v patrnosti nutnost dodržet technické požadavky na grafickou a fyzickou podobu daných artefaktů dle příslušných systémů. Častým problémem může být přílišná vzájemná grafická podoba v případě využití vícero řídicích prvků a minimální velikost. V takových případech je možné vyřešit tento problém diferencováním řídicích prvků kombinací jednoduché grafické podoby sloužící primárně ke sdělení potřebné informace uživateli a unikátního kódu (např. QR kód) určeného primárně systému AR. Většina systémů AR (především mobilních, viz Tab. 1) umožňuje teoreticky pracovat se všemi druhy řídicí informace, nicméně jednotlivé skupiny systémů se vyznačují určitými přednostmi či naopak nedostatky oproti ostatním při práci s různými typy řídicí informace.

V případě TH-P1 a TH-P2 pracuje systém AR na principu rozpoznávání řídicí informace ve snímaném okolí, což sebou nese požadavky zejména na světelné podmínky v prostředí, kde se uskutečňuje rozšířená realita, či na rychlost změny snímaného prostředí. Určujícím technickým parametrem ovlivňující výši těchto požadavků je kvalita snímacího zařízení z hlediska světelné citlivosti, obrazového rozlišení a rychlosti snímání (snímkové frekvence). V současné době jsou parametry obrazového rozlišení a snímkové frekvence na vysoké úrovni i u miniaturních kamer, čímž riziko nedostatečného snímání minimalizují. Světelná citlivost do značné míry závisí na kvalitě optických členů objektivu, která se odráží na velikosti a hmotnosti zařízení. Je tedy zřejmé, že zejména systémy umožňující mobilitu uživatele (např. HMD, mobilní zařízení) jsou v tomto směru velmi citlivé na světelné podmínky snímaného prostředí.

Z parametrů uživatele jako řídicí informace se využívá především geofyzikální pozice (snímané pomocí GPS technologie) a polohy uživatele. Technická omezení funkce GPS limitují využití

¹⁵⁷ Převzato z: http://b.vimeocdn.com/ts/229/527/229527240_640.jpg.

rozšířené reality v prostředích s relativně otevřeným venkovním prostorem a je třeba počítat s odchylkou v rámci až několika metrů při určení pozice systémem v rámci trojdimenzionálního prostoru primárního prostředí. Díky nezávislosti na světelných podmínkách však umožňuje tato technologie práci za jakýchkoliv světelných podmínek včetně minimální světelnosti.

Počet uživatelů (TH-U)

Počet uživatelů, kteří mohou v jednom okamžiku společně používat jeden konkrétní systém AR a skrze něj vnímat vytvářenou rozšířenou realitu, je důležitým didaktickým specifikem konkrétních systémů především z hlediska volby vhodné formy aplikace daného systému ve výuce.

Víceuživatelské systémy jsou díky své schopnosti nabídnout časově i obsahově stejné podmínky při vnímání rozšířené reality vícero uživatelům v rámci jednoho zařízení vhodné především ke kolaborativním, skupinovým či frontálním formám výuky. Umožňují uživateli měnit svou pozici (např. volný pohyb po třídě) vůči systému, aniž by se tím snížil efekt rozšířené reality či měnil její obsah (není-li sám uživatel účastníkem) a akcentují vzájemné sdílení počítku rozšířené reality mezi uživateli. Jednouživatelské systémy nabízejí vyšší míru personalizace ve smyslu nastavení konkrétního zařízení dle fyziologických diferencí jednotlivých uživatelů a individualizace přístupu uživatele k obsahu skrze zařízení. Limitovaně víceuživatelské systémy jsou určeny spíše pro práci ve dvojicích, případně početně malých skupinách. Vyznačují se didaktickými specifiky v omezenější míře shodnými jako jednouživatelské systémy, ale umožňují částečné sdílení počítku dalším uživatelem, případně uživateli, čímž umožňují např. aplikaci kontrolních a korekčních mechanismů v rámci výuky ze strany ostatních účastníků edukačního procesu.

Podpora interakce mezi uživatelem a systémem (TH-I)

Význam interaktivity či interakce jako podmínky efektivního využití technických výukových prostředků byl a je dlouhodobě zdůrazňován a v pedagogické teorii stabilně ukotven. Z hlediska uplatnění rozšířené reality ve vzdělávání je interakce zvláště významný aspekt, který ovlivňuje efektivnost využití AR v roli technického výukového prostředku. Interaktivita může být charakterizována z mnoha pohledů. V kontextu této práce, zejména pak didaktických specifíků rozšířené reality, je interaktivita uvažována jako interakce technologická typu žák-technické zařízení, resp. *computer-based interaction* (CBI)¹⁵⁸ a jako interakce obsahová typu žák-obsah¹⁵⁹. Činiteli v rámci interakce jsou tak žák a systém AR nebo žák a obsah.

¹⁵⁸ YACCI, Michael. *Interactivity Demystified: A Structural Definition for Distance Education and Intelligent CBT*. Dostupné z: <http://www.ist.rit.edu/~may/interactiv8.pdf>.

¹⁵⁹ MOORE, Michael G. Editorial: Three types of interaction. In *American Journal of Distance Education*. Volume 3,

Interakci CBI lze charakterizovat jako reciproční efekt mezi člověkem a neorganickým prvkem nebo jako vlastnost systému umožňující vzájemnou komunikaci s uživatelem, tj. intervence uživatele do procesů systému, jejichž efekt lze zpětně zaznamenat v reálném čase¹⁶⁰. Interaktivita se zde chápe především z pohledu systému. Podpora technologické interakce v rozšířené realitě je dána na jedné straně technickými (hardwarovými) parametry systému AR, na straně druhé schopností programové aplikace, kterou systém AR používá, poskytnout uživateli vhodnou zpětnou reakci. Toto vymezení je v podstatě podmínkou, která umožňuje uplatnění interaktivity v rámci rozšířené reality. V rámci vymezení technologických hledisek systémů AR byla podpora interakce klasifikována pouze dichotomicky (ano, ne). Z hlediska didaktického významu se však otevírá hlubší pohled na vzájemný vztah tohoto technologického hlediska, podoby interakce a didaktických specifik rozšířené reality, v rámci něhož se jeví potřeba podrobnějšího zkoumání vztahu interaktivity a rozšířené reality.

Vedle interakce mezi uživatelem a systémem je možné uvažovat rovněž interakci mezi uživatelem a obsahem (žák-obsah), resp. prostředím rozšířené reality. Tento pohled nebyl v rámci technologických hledisek uplatněn, neboť v principu se v podstatě nedotýká vlastností systémů¹⁶¹. Interakce zde může být naplněna na dvou úrovních, za prvé přímou reakcí prvku reálného prostředí na podnět žáka, za druhé reakcí systému na tento podnět v podobě poskytnutí zpětné vazby žákovi.

V důsledku je tak možné zaznamenat tři typy interakce v rámci rozšířené reality z hlediska činitelů:

1. uživatel ↔ reálné prostředí
2. uživatel ↔ systém AR
3. uživatel → reálné prostředí → systém AR → uživatel

Ve všech případech může vzájemné působení činitelů nabývat různé míry a podoby interaktivity a jednotlivé typy se mohou vzájemně doplňovat a podporovat. Při pohledu na interaktivitu mezi uživatelem a systémem (přímo nebo skrze reálné prostředí) lze ze strany systému vyjádřit různou míru či úroveň interaktivity. Proměnné, které obecně vyjadřují danou úroveň interaktivity, mohou být jednak četnost aktivity uživatele na události systému, jednak význam následné odezvy systému ve smyslu ovlivnění výsledku či obsahu a rozsah, který charakterizuje počet voleb, které má uživatel k dispozici.¹⁶²

Issue 2, 1989. Dostupné z: http://aris.telug.quebec.ca/portals/598/t3_moore1989.pdf.

¹⁶⁰ LÉVY, Pierre. *Kyberkultura*. Praha: Karolinum, 2000. 229 s. ISBN 80-246-0109-5.

¹⁶¹ Interakce mezi uživatelem a reálným prostředím se zpětnou vazbou od systému k uživateli je nepřímou zakotvena např. v technologickém hledisku Povaha řídicí informace (TH-P).

¹⁶² LAUREL, Brenda. *Computers as Theatre*. Addison-Wesley Professional, 1993. ISBN 0201550601. s. 20.

Jiný pohled na technologickou interaktivitu v rámci edukačního procesu uvádí Kennedy¹⁶³, a to pohled ze strany žáka a jeho činnosti. V kontextu využití multimedií ve vzdělávání definuje Kennedy tzv. kognitivní model interakce, v rámci něhož vymezuje funkční interaktivitu probíhající mezi komponentami – (1) programové události multimédia či systému a (2) činnosti žáka při konfrontaci s událostí systému. Vedle funkční interaktivity dále vymezuje kognitivní interaktivitu, ve které je kromě základních komponent obsažená ještě kognitivní komponenta zahrnující kognitivní procesy a strategii, které žák aplikuje při interakci se systémem.

Další možný přístup k interaktivitě uvádí Lister¹⁶⁴, který v kontextu nových médií rozlišuje několik stupňů interaktivity v závislosti na podobě interakce mezi uživatelem a obsahem. Obecné pojetí interakce ztotožňuje s tzv. instrumentálním stupněm interaktivity (1), kdy je interakce chápána jako možnost uživatele přímo zasahovat do prezentovaného obsahu a ovlivnit tak jeho podobu. Druhý stupeň označuje Lister termínem hypertextová navigace (2). Interakce zde vyznačuje tím, že systém poskytuje uživateli jím požadované informace, které jsou systému k dispozici v podobě určité databáze dat. Uživatel si sám volí průchod touto databází, resp. zobrazení určité informace a výstupem jejich zpracování je komplexní vědomost vytvořená na základě postupného poznávání dílčích informací. Dalším stupněm je imerzivní navigace (3), která se vyznačuje oproti hypertextové navigaci navíc využitím fyzického postavení uživatele vůči okolnímu prostředí (typicky u virtuální reality), resp. reakcí systému nejen na vědomý zásah uživatele skrze ovládací prvky systému, ale především na automaticky získávané informace o pozici uživatele, jeho poloze, apod. Předposlední stupeň je registrovatelná interaktivita (4), v rámci které umožňuje systém uživateli takový zásah do obsahu daného média, který rozšiřuje informační hodnotu původního obsahu, navazuje na původní obsah a zároveň jednoznačně identifikuje daného uživatele. Jedná se typicky o interakci v rámci komentářů, diskusních skupin apod. Posledním stupněm v Listerově taxonomii je interaktivní komunikace (5), chápána jako počítačem uskutečněná komunikace (CMC - computer-mediated communication) připodobněná klasické komunikaci tváří v tvář.

Při zkoumání významu interaktivity pro rozšířenou realitu je vhodné částečně vycházet z vymezení tohoto specifika v rámci technologie virtuální reality. Např. Ryan¹⁶⁵ v kontextu virtuální reality uvádí, že interaktivita vyžaduje dynamickou simulaci. „*Nejedná se pouze o schopnost orientovat se ve virtuálním světě, ale především o schopnost uživatele měnit toto prostředí.*“ Reakce systému na

¹⁶³ KENNEDY, G. Promoting Cognition in Multimedia Interactivity Research. In *Journal of Interactive Learning Research*. 2004. s. 43-61.

¹⁶⁴ LISTER, Martin et al. *New Media: A Critical Introduction*. 2nd ed. London: Routledge, 2009, 446 s. ISBN 0-203-88482-5. s. 21-23.

¹⁶⁵ RYAN, Marie-Laure. *Immersion vs. Interactivity: Virtual Reality and Literary Theory*. 1994. Dostupné z: <http://www.humanities.uci.edu/mposter/syllabi/readings/ryan.html>.

senzory poskytnuté informace sama o sobě interaktivitu mezi uživatelem a okolním prostředím nezajistí.

Za interakci lze obecně tedy považovat i zásah do původního reálného prostředí, který se projeví ve změně obsahu rozšířené reality (hlavně virtuální složky). V tomto smyslu interaktivita spočívá např. i v přidání či odstranění řídicích prvků, na základě kterých je prezentována přidaná informace. Rozšířená realita se přitom může chovat tak, že v závislosti na četnosti přidání/odebrání, velikosti či pozici řídicího prvku mění podobu přidané informace. Z tohoto pohledu je možné o rozšířené realitě říci, že ve všech případech, kdy využívá prvku reálného prostředí (TH-P1) nebo záměrně vloženého artefaktu jako řídicí informace (TH-P2) a je možné s tímto prvkem manipulovat, naplňuje minimálně první stupeň Listerovy stupnice interaktivity, přičemž variabilita v množství prvků, jejich manipulativnost a kombinace mohou určovat míru interaktivity. Tato podoba interakce je vhodná pro využití zejména u prvních tří kategorií didaktických využití AR¹⁶⁶. Mnoho aplikací AR této interakce cíleně využívá k podnícení konstruktivního či badatelského přístupu ve výuce.

V rámci interaktivity způsobené interakcí mezi uživatelem a systémem AR naopak nedochází ke změnám v primárním reálném prostředí. Technické zajištění interakce je závislé na způsobu a možnostech konkrétního systému AR přijímat pokyny a instrukce od uživatele. K tomu mohou sloužit různá vstupní zařízení v závislosti na typu systému (klávesnice, myš, dotykový displej, kontrolní zařízení k HMD apod.). Způsob přijímání instrukce od uživatele, resp. způsob, jakým uživatel (žák) působí na systém má značný vliv na komfort a přehlednost při použití rozšířené reality.

Další možností působení žáka na systém je bezkontaktní (optický, zvukový atd.) způsob pomocí určitých povelů, např. gesty, slovními povely či jinými jednoznačně určitelnými změnami, které je systém schopný rozpoznat. Z pohledu čistě technického se jedná o instrukce směrem k systému, z širšího pohledu, tj. z hlediska celkového konceptu rozšířené reality se vlastně jedná o změnu podnětů v rámci primárního reálného prostředí. Při vhodném výběru systému a návrhu aplikace AR na základě obou těchto přístupů přináší využití tohoto způsobu výhody interakce uživatele s reálným prostředím a zároveň pocit řízení průběhu či průchodu rozšířené reality skrze jasné povely.

Typ interakce rovněž záleží na mobilitě patřičného systému AR. S fixním zařízením např. typu projekce do reálného prostředí bude umožněna především interakce mezi žákem a reálným prostředím.

¹⁶⁶ 1. navýšení informační hodnoty, 2. expozice časově a prostorově nesourodých jevů a 3. simulace jevů, dějů a procesů.

3.5.2 Systémy rozšířené reality z hlediska organizace výuky

Rozšířená realita, jak již bylo uvedeno, je komplexním technologicko-percepčním konceptem, v rámci něhož hraje, z hlediska využití rozšířené reality, důležitou roli systém AR a jeho technicko-funkční možnosti. V kontextu využití rozšířené reality ve vzdělávání je tomu rovněž tak, což naznačuje vymezení didaktických specifik rozšířené reality z hlediska technologických aspektů systémů AR v předchozí kapitole. Systémy AR jsou v této práci podrobeny analýze a zkoumání po stránce technologické a percepční a jsou na základě patřičných hledisek a společných technologicko-percepčních principů kategorizovány a deskribovány.

Z pohledu organizace didaktické situace se může zdát vymezení aspektů rozšířené reality z hlediska technologického, percepčního a výsledového příliš podrobné, jednotlivá hlediska méně přehledná se složitou strukturou a jejich množství poměrně značné. Některá hlediska mohou mít v tomto kontextu slabší význam, některá jsou naopak zásadní. S přihlédnutím k této skutečnosti je vhodné nejdříve provést určitou restrukturalizaci hledisek rozšířené reality pro jasnější stanovení významných aspektů systémů AR ve vztahu k organizaci výuky, resp. jejich transformaci do kritérií posouzení vhodnosti systémů AR pro konkrétní edukační záměr. Systém těchto kritérií se může stát vodítkem při volbě vhodného technického řešení rozšířené reality pro zamýšlenou didaktickou situaci.

Jedním ze zásadních organizačních kritérií je lokace, ve které bude rozšířená realita realizována. Kritérium lokace v sobě nezahrnuje pouze místo realizace, ale také parametry dané lokace jako např. světelné podmínky, proměnlivost v čase, dostupnost elektrické sítě, internetu, GPS signálu apod., které je možné označit jako organizační podmínky výukového prostředí. Do hlediska lokace se též značně promítá technologické hledisko povahy řídicí informace (TH-P), které reflektuje schopnost systému pracovat s patřičnými parametry okolní reality. Dalšími kritérii jsou počet žáků, pro které má být rozšířená realita realizována v rámci jednoho systému, a předpokládaná role žáka v rozšířené realitě. Kritérium role žáka vychází primárně z výsledového hlediska pocitu účastnictví (RH-PU), tedy zda se nachází uživatel uvnitř rozšířené reality, nebo je jejím pozorovatelem, a určuje tak míru a povahu imerze rozšířené reality. Mobilita je čtvrtým kritériem; částečně je vymezena již v úvodu rámci kapitoly 3.5 a zohledňuje mobilitu jak samotného zařízení, tak žáka v prostředí rozšířené reality. Poslední kritérium zohledňuje požadavky na parametry prezentace obsahu rozšířené reality.

Výsledná struktura organizačních kritérií má následující podobu, přičemž v rámci jednotlivých kritérií jsou uvedeny (druhá úroveň seznamu) specifické požadavky, na které je třeba se zaměřit a které dané kritérium vymezují:

1. zamýšlená lokace pro realizaci rozšířené reality
 - a. venkovní nebo vnitřní prostředí
 - b. závislost aplikace na konkrétní lokaci
2. počet žáků, pro něž je rozšířená realita určena
3. předpokládaná role žáka v rozšířené realitě
 - a. pozice žáka vůči rozšířené realitě (pozorování, nebo zrcadlení reality)
 - b. reflektování změny pozice žáka vůči rozšířené realitě ze strany systému
4. požadovaná mobilita
 - a. mobilita žáka v prostředí rozšířené reality
 - b. limitace žáka systémem
5. požadované parametry prezentace obsahu
 - a. kvalita obrazu (realističnost)
 - b. preciznost registrace
 - c. zpoždění
 - d. kolize virtuálních objektů s reálným prostředím
 - e. prostorovost
 - f. degradace percepčního pole

Lokace pro realizaci rozšířené reality

Lokaci, ve které se bude realizovat rozšířená realita, lze označit za stěžejní kritérium při výběru vhodného technického řešení, které je třeba uvažovat přednostně. Za prvé je potřeba zohlednit, zda je pro danou didaktickou situaci důležitá konkrétně vymezená lokace (např. třída, budova, socha apod.) či zda bude předmětem (primárním prostředím nebo prvkem) rozšíření např. sám žák, pomůcka či jiný přemístitelný prvek bez vazby na konkrétní lokaci. V prvním případě dále záleží, zda se bude jednat o prostředí uzavřené (interiér), kde není možné využít např. GPS signál jako řídicí informaci, nebo např. o venkovní prostor, který naopak vyžaduje využití geofyzikálních parametrů žáka, resp. zařízení (TH-P3). V případě, kdy je předmětem rozšíření přemístitelný prvek, situace naopak vyžaduje systémy, které pracují na principu rozpoznávání okolního prostředí¹⁶⁷.

¹⁶⁷ Existuje rovněž řešení, kdy je možné vybavit předmět GPS vysílačem a následně ho libovolně přemísťovat či přidělat na jiný pohyblivý bod.

Dále je nutné zohlednit technické zajištění (organizační podmínky) lokace, zda je k dispozici např. připojení k elektrické síti, což je pro určité systémy (zejména stacionární zařízení s projekcí) zcela zásadní podmínkou. Jiný pohled na lokaci, z pohledu návrhu aplikace, přináší Dunleavy a Dede¹⁶⁸. Dělí formy rozšířené reality z hlediska lokace na lokačně závislé, které využívají historické, zeměpisné a fyzické kontexty daného místa v rámci rozšířené reality, a na lokačně nezávislé, které vyžadují pouze dostatečný prostor pro svou realizaci.

Počet žáků

Hledisko počtu žáků, pro které má být rozšířená realita zprostředkována, jednoznačně strukturuje jednotlivé systémy či technologická řešení do kategorií odpovídajícím technickému hledisku TH-U, jež plně koresponduje s tímto didaktickým hlediskem. Didaktický význam počtu uživatelů je blíže vymezen v předchozí kapitole na straně 79. Při výběru vhodného technického řešení je třeba vycházet ze zamýšlené metody a organizační formy výuky s rozšířenou realitou. Dále je také nutné zohlednit, zda má mít interakce žáka se systémem dopad pouze na vnímání rozšířené reality tímto žákem, nebo bude ovlivňovat i počitek dalších žáků. Víceuživatelské systémy se oproti jednouživatelským logicky jeví jako vhodnější pro skupinovou či kolaborativní výuku, nicméně i jednouživatelské systémy s odpovídající aplikací a interakcí jsou vhodným řešením pro tyto formy výuky s výhodami možnosti diskuse personalizace počítka.¹⁶⁹

Role žáka

Dle hlediska pocitu účasti (RH-PU) může žák zaujímat buď pozici pozorovatele, kdy se nachází vně rozšířené reality, nebo aktivního, či pasivního účastníka. Při účasti v rozšířené realitě významně narůstá pocit imerze, neboť žák se nalézá uvnitř rozšířené reality a jeho aktivita se více či méně odráží do podoby výsledné AR. Z hlediska vztahu uživatel-systém-rozšířená realita je vhodné rozlišovat systémy ve smyslu *magic mirror* a *magic window* na systémy zajišťující žákovi *pozorování* okolní reality či její *zrcadlení*.

V případě pozorování okolní reality je systém, který zajišťuje zobrazení rozšířené reality či její virtuální složky, nejčastěji umístěn mezi žákem (resp. jeho okem) a pozorovanou realitou¹⁷⁰. V závislosti na technickém řešení systému (robustnost, velikost zobrazovací plochy, vzdálenost od rozšířené reality aj.) je nutné počítat s prostorem mezi žákem a systémem a mezi nahlíženou

¹⁶⁸ DUNLEAVY, Matt. DEDE, Chris. Augmented Reality Teaching and Learning. In M.J. Bishop & J. Elen (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*. 4th edition, Volume 2. New York: Macmillan.

¹⁶⁹ Např. KAUFMANN, Hannes. *Geometry Education with Augmented Reality*. Wien, 2004. 169 s. s. 27.

¹⁷⁰ Na základě této skutečnosti jsou tyto systémy někdy označovány termínem „*magic window*“. Tyto systémy se vyznačují zobrazením přidaných informací uvnitř zařízení, což charakterizuje parametr TH-K2 a TH-K3 z hlediska konfigurace složek AR.

realitou a systémem, který je potřeba zabezpečit, což může být v některých didaktických situacích omezujícím prvkem. Další důležitou vlastností systému je skutečnost, zda systém reflektuje polohu a pozici žáka, resp. jeho hlavy a dokáže na případnou změnu reagovat modifikací prezentovaného obsahu. Nenaplnění této vlastnosti ze strany systému (např. v případě pozorování se stacionárními systémy) může být pro určité výukové situace nepřijatelné, obzvláště tam, kde se počítá s mobilitou žáka a je nutné rozšířenou realitu nahlížet z různých perspektiv. Mobilní zařízení (např. tablety či chytré telefony) jsou v tomto směru flexibilní. Mohou být použita podobně jako zařízení s HMD nebo jako stacionární systémy, přičemž si sám žák může volit způsob, jak dané zařízení použít.

Systémy, které mohou zajistit zrcadlení okolní reality, nejčastěji pak včetně samotného žáka či větší skupiny, se vyznačují konfigurací obou složek AR uvnitř zařízení (TH-K3), přičemž se jedná o mobilní zařízení a stacionární video systémy. Rozšířená realita ve formě *zrcadlení* nabízí velký prostor pro aplikace se zvýšenou mírou interaktivity, ve kterých je sám žák účastníkem AR. V takových případech lze předpokládat vysokou míru efektivity učení a fixace výukového obsahu.

Zvláštní postavení z hlediska pozice žáka vůči rozšířené realitě mají systémy, v rámci nichž je reálná i virtuální složka AR percipovaná přímo bez nutnosti zobrazovacího zařízení (TH-K1), které nestaví mezi žáka a rozšířenou realitu žádný technický prvek. Své uplatnění naleznou pouze v rámci *pozorování* okolní reality, kde ovšem nenabízejí jasně vymezené „okno do reality“, čímž umožňují větší vtažení žáka do rozšířené reality (je jí obklopen), i když je v roli pozorovatele. Pocit imerze je o to více umocněn, že žák nemá možnost (bez interakce se systémem) rozšířenou realitu tzv. „vypnout“ tím, že by odsunul dané zařízení a vnímal tak pouze původní reálné prostředí.

Stacionární systémy a mobilní zařízení nabízejí oproti systémům s HMD žákovi možnost přerušit vnímání rozšířené reality tím, že odsune dané zařízení z percepčního pole (u mobilních systémů) nebo odkloní svůj zrak od projekce rozšířené reality (stacionární zařízení), resp. tato zařízení (zejména mobilní) umožňují pohodlnější srovnání reality a jejího rozšíření v podobě AR.

Mobilita

Kritérium mobility zohledňuje především mobilitu žáka v prostředí rozšířené reality, kterou daný systém AR dovoluje, a to za předpokladu trvání počítku AR u žáka a zároveň přizpůsobení prezentované rozšířené reality (nebo jen virtuální složky) změně pozorovacího úhlu žáka při změně jeho pozice vůči reálnému prostředí. U systémů, které nedovolují žádnou mobilitu, nelze předpokládat velké využití pro formy výuky, jež jsou založené na objevování okolního prostředí a jeho nahlížení z různých pozic a perspektiv. Jejich výhoda může naopak tkvět v poskytnutí obsahu rozšířené reality pro každého žáka shodně, ať již ve stejném čase, či v rámci střídání se. Jejich využití lze spatřit ve zprostředkování rozšířené reality založené na neměnném reálném prostředí

(např. panorama města nahlížené z jednoho konkrétního místa) nebo s možností měnit podobu reálného prostředí, např. skrze manipulaci s řídicí informací v podobě parametru reality či vloženého artefaktu. V případě zrcadlení, kdy je sám žák součástí reálného prostředí, může být naopak výhodou fixace takových systémů, neboť změna obsahu rozšířené reality úzce souvisí s aktivitou žáka, čímž je zároveň jeho aktivita podněcována. Systémy, které žáka z hlediska mobility nelimitují, těží především z možnosti změny perspektivy pohledu na rozšířenou realitu či její část, její aktivní prozkoumávání a dovolují uskutečňovat širokou škálu didaktických záměrů. Systémy s projekcí do reálného prostředí umožňují relativně volný pohyb v rozšířené realitě bez větších omezení díky své schopnosti prezentovat obsah AR přímo v prostoru bez nutnosti zobrazovacího zařízení.

Další pohled na mobilitu lze charakterizovat jako limitování fyzického pohybu žáka ze strany systému. Některé systémy vyžadují jednoznačně určené místo, odkud lze rozšířenou realitu percipovat, a neumožňují žákovi měnit polohu ani pozici. Jiná řešení umožňují prakticky neomezený pohyb, ale limitují např. žáka tím, že musí dané zařízení držet (tablet, chytré telefony atd.), čímž eliminují možnost svého využití např. pro didaktické situace vyžadující manuální činnost žáka. Za plně mobilní systémy z tohoto pohledu je možné považovat řešení s HMD, ačkoliv v současné době jsou tato řešení stále dosti robustní na to, aby např. umožnila komfortní rychlé pohyby žáka (běh apod.). Do kategorie plně mobilních spadají rovněž taková řešení, která nevyžadují od uživatele fyzický kontakt s daným zařízením a plnohodnotně pokrývají percepční oblast žáka vzhledem k velikosti reálného prostředí. Jedná se typicky o systémy s projekcí do reálného prostředí, ale i stacionární systémy realizované jako velké instalace.

Parametry prezentace obsahu

Kritérium parametry prezentace obsahu postihují požadavky na obrazovou kvalitu rozšířené reality, způsob a preciznost její prezentace, resp. preciznost kombinování reálné a virtuální složky a další aspekty související s percepcí uživatele AR. Dostatečné naplnění jednotlivých parametrů ze strany systému AR umožňuje efektivní využití rozšířené reality a dosažení vytyčených výukových cílů v rámci dané didaktické situace. Eliminace chyb a nedostatků v rámci těchto parametrů reflektuje funkční preciznost systémů AR v poskytování korektně propojené virtuální a reálné složky ve výsledné rozšířené realitě, a to tak, aby byl počitek žáka technickými nedostatky výsledné prezentace minimálně narušen.

Vlastnosti prezentovaného obsahu z pohledu počítačové grafiky a zobrazení obecně lze v kontextu parametrů prezentovaného obsahu označit jako kvalitu obrazu. Tyto vlastnosti vycházejí z některých percepčních hledisek rozšířené reality. Maximální naplnění hledisek barevné informace,

charakteru grafických dat a dynamičnosti obrazu je možné označit z hlediska čistě technického jako bezproblémové pro většinu v současné době dostupných systémů AR¹⁷¹. Míra jejich naplnění tak spíše souvisí s podobou a formou obsahu virtuální složky, a není proto nutné na ně brát při výběru systému AR velký zřetel. Naopak rozlišení obrazu se u jednotlivých systémů může výrazně lišit a zejména rozměrem menší zařízení mohou být v tomto směru limitující. V určitých didaktických situacích (např. detailní zobrazení složitých struktur) je rozlišení obrazu předpokladem k potřebné názornosti, která může souviset i s požadavkem na plnobarevné realistické zobrazení. Při snaze o maximální realističnost zobrazení po stránce vizuální je proto zapotřebí co možná nejlepší kvality obrazu.

Prostorovost úzce souvisí s technickými možnostmi jednotlivých systémů a je těmito možnostmi limitována (viz Tab. 1). Didaktickými specifiky prostorového zobrazení se zabývá např. Prokýšek¹⁷², který shledává jeho přínos z hlediska didaktiky hlavně ve schopnosti zobrazení další dimenze, což umožňuje přímo poskytnout informace, které by musely být pro plošnou (neprostorovou) prezentaci jistým způsobem upraveny.

V kontextu zamýšlené výukové situace je při výběru vhodného řešení z hlediska registrace nutné zohledňovat, do jaké míry je důležitá přesnost zasazení virtuálního prvku do reality, a také forma požadované mobility (u situací s minimálními změnami v analyzované realitě jsou výrazně eliminovány možnosti dynamických chyb v registraci). U systémů pracujících s GPS je také nutné předpokládat nepřesnost v rámci až několika metrů¹⁷³, takže se tyto systémy nehodí pro situace vyžadující přesnou registraci.

Při příliš velkém zpoždění vykreslení přidanych informací na správnou pozici v reálném prostředí dochází ke snížení komfortu při práci s rozšířenou realitou, což může v důsledku zapříčinit demotivaci žáků k používání rozšířené reality. Při aplikacích AR, kde je nutná velmi rychlá odezva systému na změnu řídicí informace (např. nácvik rychlých modelových situací) je jakékoliv zpoždění zaznamenané žákem nepřijatelné.

Význam správné kolize virtuálních objektů s reálným prostředím se zvyšuje s narůstajícím významem ukotvení virtuálního objektu v 3D struktuře reálného prostředí. Pokud je účelem

¹⁷¹ Jedná se o systémy, které jsou dostupné pro praktické použití ve vzdělávání, tj. systémy, které jsou a v řádu několika let budou pro vzdělávací instituce relativně běžně prakticky dostupné.

¹⁷² PROKÝŠEK, Miloš. *Didaktické aspekty využití prostorového zobrazování*. Univerzita Karlova v Praze Pedagogická fakulta, 2012. Disertační práce. Univerzita Karlova v Praze, Pedagogická fakulta, Katedra informačních technologií a technické výchovy. s. 88.

¹⁷³ ČÁBELKA, Miroslav. *Úvod do GPS*. Praha: Akademie kosmických technologií, Oblast Galileo, GMES, 2008. 73 str. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/vyuka/gps/skriptum-uvod-do-gps/view>.

virtuálních prvků v rámci rozšířené reality, zjednodušeně řečeno, překrýt reálné prostředí, správná kolize nehraje příliš významnou roli. V opačném případě může chybná kolize vést ke špatné interpretaci prezentované rozšířené reality ze strany žáka a výrazně tak zkomplikovat dosahování vytyčeného výukového cíle. Fatální dopad má chybná kolize zejména v případech osvojování a vytváření kompetencí v modelových situacích (návik chirurgických operací apod.).

Posledním parametrem, který ovlivňuje počitek žáka z rozšířené reality, je degradace jeho percepčního pole, která je zapříčiněna technickou konstrukcí, resp. principem daného systému. Pro dosažení zamýšleného záměru aplikací rozšířené reality je ve většině případů vhodné, aby systém AR poskytl takový pohled na rozšířenou realitu, který co nejvíce odpovídá běžnému percepčnímu poli žáka, a tím nenarušoval komplexnost vnímání rozšířené reality jako celku (např. při pozorování historické podoby okolního prostoru, sledování prostorově rozlehlé simulace aj.). Mohou být i didaktické situace, ve kterých je naopak žádoucí, aby žák „pátral po okolí“ a objevoval jednotlivá rozšíření postupně. Nedostatkem systémů AR v podobě degradace percepčního pole, který se v podstatě zvyšuje s narůstající vzdáleností zařízení od žáka (nejméně HMD systémy, nejvíce stacionární systémy), lze tak vhodně i didakticky využít.

V přehledové tabulce Tab. 2 jsou dle všech výše uvedených organizačních kritérií deskribovány vybrané systémy AR. Je nutné poznamenat, že naplnění jednotlivých dílčích požadavků v rámci daných kritérií se může u konkrétních technologických řešení lišit, obzvláště v případech systémů AR vytvořených pro konkrétní aplikaci či využití.

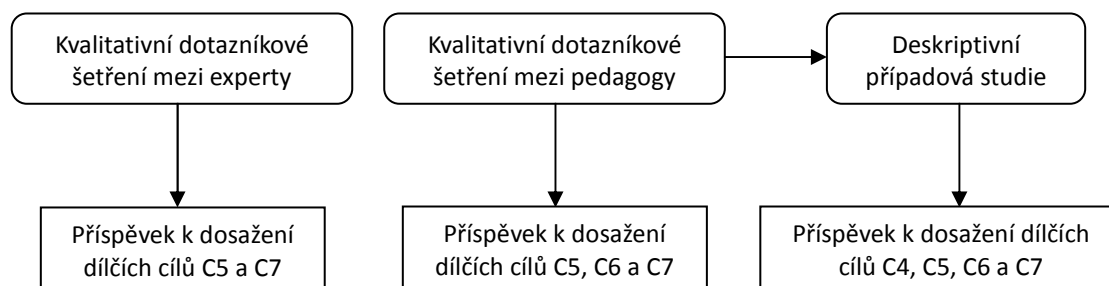
Systémy AR, jejichž vhodnost pro patřičná didaktická využití dle výše specifikovaných kritérií je evaluována v tabulce Tab. 2, byly vybrány na základě současné relativní dostupnosti a reálné možnosti, že si takové zařízení může (popřípadě bude moci nejpozději v řádu několika let) škola či jiná vzdělávací instituce běžně pořídit dle svých ekonomických a organizačních podmínek.

	Monokulární optické HMD	Binokulární optické HMD	Monokulární video HMD	Binokulární video HMD	Mobilní zařízení pracující s parametrem uživatele	Mobilní zařízení využívající kameru	Stacionární optické systémy	Stacionární video systémy	Systémy s projekcí do reálného prostředí
Lokace pro aplikaci AR									
Vnitřní vymezená lokace (a,n)	a	a	a	a	?	a	a	a	a
Venkovní vymezená lokace (a,n)	a	a	a	a	a	n	n	n	n
Lokace vyžadující přemístování žáka (a,n)	?	?	?	?	a	n	n	n	n
Lokace není významná (a,n)	a	a	a	a	n	a	a	a	n
Počet uživatelů									
Jeden uživatel (a,n)	a	a	a	a	a	a	a	a	a
Limitovaný počet (a,n)	n	n	n	n	a	a	a	a	a
Větší skupina (a,n)	n	n	n	n	n	n	?	a	a
Role žáka v AR									
Pozorování (a,n)	a	a	a	a	a	a	a	a	a
Zrcadlení (a,n)	n	n	n	n	a	a	n	a	n
Reflexe změny pozice žáka (a,n)	a	a	a	a	a	a	?	?	n
Mobilita									
Pohyb uživatele v rámci AR	a	a	a	a	a	a	n	?	a
Limitace pohybu uživatele (a,n)	a/?	a/?	a/?	a/?	n	n	?	n	n
Parametry prezentace obsahu									
Kvalita obrazu (nízká, vysoká)	n	n	n	n	v	v	?	v	v
Podpora prostorovosti (a,n)	n	a	n	a	n	n	?	?	a
Eliminace degradace percepčního pole (žádná, nízká, střední, vysoká)	n	ž	s	s	v	v	n	s	ž

Tab. 2 - Naplnění organizačních kritérií ze strany vybraných systémů AR (a - systém splňuje kritérium, n - systém nesplňuje kritérium, ? - není možné jednoznačně určit)

4 Výzkumné šetření

Hlavní úlohou empirické části je doplnit výsledky teoretických metod z předchozí části práce na základě zmapování jevů a okolností provázejících aplikaci rozšířené reality ve vzdělávání, zejména ve školní výukové praxi, a tím docílit vyšší komplexnosti aplikované výzkumné metodologie. Vzhledem ke stanoveným dílčím cílům práce byla navržena struktura empirické části jako soubor tří samostatných výzkumných projektů, z nichž se každý snaží o příspěvek k naplnění konkrétních cílů práce (C4, C5, C6 a C7). Jedná se o kvalitativní dotazníkové šetření mezi odborníky v oblasti vývoje, historie a aplikace rozšířené reality, dále kvalitativní dotazníkové šetření mezi pedagogy z praxe s rozličným předmětovým zaměřením a o výzkumný projekt v podobě deskriptivní případové studie¹⁷⁴ zaměřené na implementaci aplikačních řešení rozšířené reality do výukové praxe. Návrh a koncepce implementovaných aplikačních řešení rozšířené reality částečně vycházely z výsledků kvalitativního dotazníkového šetření mezi pedagogy, které výzkumnému projektu chronologicky předcházelo. Následující schéma naznačuje metodologický koncept empirické části výzkumu.



Obr. 34 - Struktura metod výzkumného šetření

Převaha kvalitativních přístupů v rámci empirické části odrážela především povahu daného tématu a jeho těžko uchopitelné zkoumání skrze kvantitativní metody. Rozšířená realita ve výuce není koncept úzce zaměřený na konkrétní dovednosti či schopnosti, ale vždy závisí na způsobu aplikace, resp. použití tohoto technického prostředku v rámci konkrétního didaktického záměru. Záměrem výzkumného šetření není intenzivní zkoumání jednoho konkrétního případu použití rozšířené reality ve vzdělávání z hlediska efektivity, ale popsat didakticky relevantní a významné jevy, skutečnosti a charakteristiky AR vyskytující se při aplikaci rozšířené reality ve vzdělávání, a to v širším kontextu různých způsobů použití AR ve výuce.

¹⁷⁴ HENDL, Jan. *Úvod do kvalitativního výzkumu*. Praha: Karolinum, 1997. 243 s. ISBN 80-7184-549-3.

4.1 Dotazníkové šetření mezi experty

Realizované kvalitativní dotazníkové šetření se zaměřilo jednak na vývoj rozšířené reality z hlediska technologického a funkčního, resp. předpokládaný vývoj z pohledu předních expertů v této oblasti, jednak na možnosti využití, přínos a úlohu rozšířené reality pro oblast vzdělávání. Cílem šetření bylo získat relevantní informace, které podpoří výsledky teoretické části a povedou k předložení systému didaktických specifik a parametrů charakterizujících rozšířenou realitu v kontextu didaktických prostředků, především z hlediska technologického a funkčního.

Cílová skupina šetření byla vybrána na základě analýzy odborné literatury, vědeckých prací a účasti na konferencích v oblasti technologií rozšířené reality či jí příbuzných. Jednalo se tedy o experty, kteří se výhradně či ve velké míře zabývají rozšířenou realitou jako celkem nebo jednotlivými technologickými oblastmi, které s rozšířenou realitou přímo souvisejí (např. rozpoznávání obrazu, zobrazovací zařízení, vývoj aplikací apod.). Na tomto základě bylo možné u všech respondentů předpokládat znalost rozšířené reality nejen jako uživatelů, ale především jako odborníků v této oblasti včetně historického vývoje či vizí budoucího vývoje rozšířené reality. Vzhledem k širokému mezinárodnímu zastoupení respondentů byl dotazník sestaven v české i anglické jazykové verzi.

Vzhledem k zaměření dotazníku byly navrženy dvě otevřené otázky, z nichž první (E1) byla cílena na zjištění názorů expertů na předpokládaný technologický a funkční vývoj rozšířené reality, druhá (E2) pak na zjištění názorů na možnosti uplatnění rozšířené reality ve vzdělávání.

E1: Jakým směrem se bude podle Vás nadále vyvíjet oblast rozšířené reality z hlediska technologického a funkčního?

E2: Jaké spatřujete způsoby, možnosti nebo příklady využití rozšířené reality v oblasti vzdělávání?

Rozhodnutí zvolit dotazník se dvěma otevřenými otázkami vycházelo jednak z potřeby neodrazení respondentů od vyplnění dotazníku příliš rozsáhlou baterií otázek, ale především ze záměru získat jejich podrobnější vyjádření k dané problematice, ve kterém by se mohly objevit poznatky a informace, které nebyly výzkumníkovi předem známy, a tudíž by se na ně nemohl dotazník zaměřit.

4.1.1 Realizace dotazníkového šetření mezi experty

Dotazníkové šetření mezi experty bylo realizováno výhradně elektronicky. Dotazník byl vytvořen v podobě webového formuláře v jazyce (X)HTML a odpovědi respondentů se po odeslání formuláře automaticky ukládaly do databáze MySQL. Vzhledem k povaze dotazníku a cílenému výběru respondentů byla v tomto případě žádoucí identifikace respondentů s odpovědí. Dotazník byl tudíž zacílen přímo na konkrétního respondenta pomocí jedinečného klíče, který byl součástí URL adresy

dotazníku a byl spárován se jménem respondenta.¹⁷⁵ Distribuce dotazníku probíhala elektronickou formou zasláním e-mailu s oslovením respondenta, stručnou deskripcí výzkumného záměru, odkazem na elektronickou verzi dotazníku a s dotazníkovými otázkami.¹⁷⁶ E-mail v sobě zahrnoval jak žádost o participaci na prováděném výzkumu, tak vlastní dotazník, díky čemuž měl respondent možnost výběru přímé odpovědi prostřednictvím e-mailu nebo odpovědi skrze zmiňovaný webový formulář.¹⁷⁷

Pokud respondent volil formu odpovědi skrze webové prostředí, byl formulář navržen tak, aby při opakovaném zadání obdržené URL adresy již nezobrazil opět daný formulář pro vyplnění, ale zobrazil zaslání odpovědi respondenta a kontakt na výzkumníka pro případ potřeby změnit či upravit své odpovědi.

Oslovení respondentů probíhalo průběžně v období od října 2012 do března 2013. Výběr respondentů tak mohl být průběžně doplňován o další v závislosti na získaných datech či další analýzy odborné literatury. Celkem bylo osloveno 44 respondentů, z toho 41 v anglickém a 3 v českém jazyce. Výrazná převaha anglicky oslovených respondentů vyplývala z faktu, že problematikou rozšířené reality se z hlediska vývoje technologií a systémových řešení zabývají zejména zahraniční experti. V České republice se touto problematikou částečně zabývá především pracoviště na katedře počítačové grafiky a interakce Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze.

4.1.2 Výsledky dotazníkového šetření mezi experty

Ze všech oslovených respondentů celkem osm vyslovalo svůj nezájem se k danému tématu vyjádřit či nepovažovali to za vhodné z hlediska jejich profesního zaměření (např. aktuálně jiná oblast zájmu či specializace pouze v dílčí technické oblasti AR). Odpověď na položené otázky poskytlo celkem 21 expertů. Návratnost dotazníku, která byla 47,7 %, lze tak považovat za velmi úspěšnou.

Získaná kvalitativní data byla připravena pro následnou analýzu metodou otevřeného kódování s cílem identifikovat významné výroky, resp. názory respondentů z hlediska oblasti zájmu položených otázek. Ačkoliv se jednotlivé otázky snažily pokrýt odlišné oblasti v rámci celého výzkumného pole, odpovědi respondentů se často v rámci obou otázek prolínaly, takže bylo zapotřebí kódovat všechna data nejdříve z pohledu první otázky a následně z pohledu druhé. Ve fázi analýzy dat byla použita metoda vytváření trsů kódů pro sdružení podobných výroků od respondentů, a to pro jednotlivé otázky zvlášť. Jeden výrok tak mohl být zařazen do více trsů

¹⁷⁵ URL adresa dotazníku jednoho respondenta v anglickém jazyce: <http://kraken.pdf.cuni.cz/vyzkum-ar/respondexp.php?key=201330616553&lng=en> (Otisk obrazovky s dotazníkem je součástí příloh jako Příloha A).

¹⁷⁶ E-mail je součástí příloh jako Příloha B.

¹⁷⁷ Viz příloha Příloha A.

v rámci jedné i obou otázek. Identifikované trsy současně nesly informaci o počtu výskytů dané obsahové informace, podle které byly následně seřazeny. Takto vytvořené trsy byly následně rozřazeny do kategorií, které vymezovaly širší zastřešující oblast než jednotlivé trsy, zároveň však pokrývaly specifickou a užší oblast než samotná otázka.

U první otázky orientované na budoucí vývoj rozšířené reality po stránce technologické a funkční byly vytvořeny tři kategorie, které sdružovaly 4, 6 a 2 trsy. U každého trsu lze uvést hodnotu počtu výroků respondentů (n_v) týkající se obsahového významu daného trsu, resp. její relativní hodnotu vyjádřenou v procentech z celkového počtu obdržných odpovědí (u trsu s četností 1 není relativní hodnota uvedena). Celkový počet výroků v rámci každé kategorie tak může být vyšší než počet respondentů, neboť odpověď každého respondenta může být zahrnuta do více trsů v jedné kategorii, ne však vícekrát v rámci jednoho trsu.

E1.1 Kvalita a vývoj rozšířené reality po technické stránce systémů AR

První kategorie sdružuje názory týkající se technické kvality systémů AR a jejich dílčích částí, případně vývoje kvality v oblasti funkčnosti systémů AR v rámci jednotlivých procesních fází vytváření rozšířené reality (např. analýza a tracking, registrace atd.). Do této kategorie byly zahrnuty celkem 4 trsy.

E1.1a) Zlepšení trackování systémů ($n_v = 8 = 38,1 \%$)

E1.1b) Kvalitnější práce senzorů u systémů ($n_v = 4 = 19 \%$)

E1.1c) Zdokonalení vizuálního rozpoznávání ($n_v = 4 = 19 \%$)

E1.1d) Vylepšení optických systémů AR ($n_v = 1$)

E1.2 Pojetí a podoba systémů AR

Druhá kategorie zastřešuje trsy výroků týkajících se typů a podoby systémů AR, které budou dle názorů respondentů v budoucnu dominovat, a to z hlediska funkcionality, způsobu použití, typu rozšířené reality, limitů týkajících se využití těchto systémů, apod. Tato kategorie obsahuje celkem 6 trsů a z hlediska četnosti výroků se jedná o nejčastěji zmiňované téma v odpovědích respondentů.

E1.2a) Přesun rozšířené reality do mobilních systémů ($n_v = 11 = 52,4 \%$)

E1.2b) Miniaturizace zařízení ($n_v = 6 = 28,6 \%$)

E1.2c) Integrace výpočetních operací v mobilních zařízeních ($n_v = 3 = 14,3 \%$)

E1.2d) Nebude třeba přidaných artefaktů jako řídicích informací ($n_v = 2 = 9,5 \%$)

E1.2e) Lepší umožnění prostorové AR díky mikroprojektorům - *spatial AR* ($n_v = 1$)

E1.2f) Nárůst rozšířené reality s využitím pozice a polohy uživatele - *location-based AR* ($n_v = 1$)

E1.3 Podpora aplikačního rozhraní rozšířené reality

Poslední kategorie sdružuje výroky z oblasti podpory aplikací, tedy spíše obsahové a softwarové složky rozšířené reality. Konkrétně se tyto výroky týkaly rozvoje databáze digitálního obsahu (virtuální složky) pro práci s rozšířenou realitou a podoby rozhraní systémů z pohledu uživatele. V této kategorii byly identifikovány pouze 2 trsy s poměrně nízkou četností, což může vést k závěru, že většina respondentů chápe technologický a funkční vývoj rozšířené reality především na úrovni systémů AR.

E1.3a) Vytváření obsáhlých databází objektů ($n_v = 5 = 23,8 \%$)

E1.3b) Plynulejší a intuitivnější rozhraní ($n_v = 2 = 9,5 \%$)

Výše uvedené výsledky z odpovědí na otázku E1 v rámci šetření mezi experty z oblasti rozšířené reality lze sumarizovat do několika následujících dílčích závěrů, které vystihují názory expertů.

Rozšířená realita se bude v budoucnu stále více uplatňovat s využitím mobilních zařízení. Tento závěr se opírá o výroky v rámci trsů *E1.2a*), *E1.2b*) a *E1.2c*), které uvažují budoucí využívání AR primárně v mobilních systémech. Zároveň se toto zjištění opírá o fakt, že v odpovědích všech respondentů nebyla v podstatě zmíněna žádná úvaha o stacionárních systémech či velkoplošných, prostorových a robustních systémech AR. V rámci trsu *E1.2a*) bylo několikrát uvedeno, že nejdříve půjde zejména o mobilní chytré telefony, později o HMD zařízení. Bude se zvyšovat funkčnost senzorů využívaných v systémech AR a kvalita jimi poskytovaných dat. Tento předpoklad je možné předpovídat s přihlédnutím k průběžnému vývoji v oblasti IT a obecnému předpokladu významu rozšířené reality v následujících letech¹⁷⁸.

Pro druhou otázku (E2) byly vytvořeny tři kategorie sdružující 6, 8 a 6 trsů. Z hlediska konkrétních vizí a příkladů uvedených v odpovědích v kontextu druhé otázky, byla zaznamenána vysoká variabilita, díky které obsahovaly především první dvě kategorie řadu trsů tvořených pouze jedním výrokiem, resp. právě jeden výrok. Pro účely následné interpretace zjištěných dat nebylo vhodné tyto jedno výrokové trsy slučovat, neboť byly obsahově rozličné.

E2.1 Benefity rozšířené reality pro její využití ve vzdělávání

Kategorie E2.1 sdružuje trsy výroků, ve kterých respondenti charakterizovali vlastnosti rozšířené reality přínosné pro využití ve vzdělávání. Jednotlivé trsy se částečně prolínají s didaktickými specifiky rozšířené reality definovanými v této práci. Za významné benefity rozšířené reality

¹⁷⁸ Např. JOHNSON, Larry, et al. *The 2011 Horizon Report*. Austin, Texas: The New Media Consortium, 2011. ISBN 978-0-9828290-5-9. [online]. Dostupné z: <http://net.educause.edu/ir/library/pdf/HR2011.pdf>.

uplatnitelné ve vzdělávání považují respondenti imerzi, možnost zapojení více percepčních kanálů a prostorovost AR.

E2.1a) Vtažení (imerze) žáka do učiva ($n_v = 7 = 33,3 \%$)

E2.1b) Zahnutí více percepčních kanálů při učení ($n_v = 5 = 23,8 \%$)

E2.1c) Využití prostorovosti ($n_v = 4 = 19,0 \%$)

E2.1d) Interakce ($n_v = 1$)

E2.1e) Získávání informací bez nutnosti vstupně-výstupních zařízení ($n_v = 1$)

E2.1f) Nabídka neúplných pohledů na ucelený jev ve fyzickém prostoru, které se vzájemně doplňují ($n_v = 1$)

E2.2 Vhodná témata a oblasti vzdělávání pro uplatnění rozšířené reality

Druhá kategorie, která sdružuje výroky týkající se konkrétních oblastí, výukových předmětů či témat vhodných pro využití rozšířené reality, je z hlediska četnosti trsů, resp. výskytu jedinečných výroků nejrozsáhlejší. Respondenti často zmiňovali oblast přírodních věd, konkrétně chemii, biologii a matematiku, a také činnosti související s manuální činností jako je údržba či oprava nebo využití v rámci architektury.

E2.2a) Chemie a virtuální chemické experimenty s fyzickým vybavením ($n_v = 7 = 33,3 \%$)

E2.2b) Biologie ($n_v = 6 = 28,6 \%$)

E2.2c) Manuální činnosti - údržba, oprava ($n_v = 4 = 19 \%$)

E2.2d) Matematika (s podporou interaktivního grafického rozhraní) ($n_v = 4 = 19 \%$)

E2.2e) Architektura (vizualizace konstrukcí budov) ($n_v = 3 = 14,3 \%$)

E2.2f) Nácvik složitých operací ($n_v = 1$)

E2.2g) Fyzika ($n_v = 1$)

E2.2h) Outdoorové aktivity, historické (muzea) a kulturní prohlídky ($n_v = 1$)

E2.3 Metody a formy užití rozšířené reality ve vzdělávání

Ačkoliv velká část oslovených respondentů nepatřila mezi odborníky z oblasti pedagogiky či ICT ve vzdělávání, vyskytla se řada výroků týkající se metod a forem učení. Velmi často byla zmiňována možnost využití AR pro simulace a experimenty. Neméně významné názory se pak týkaly i kolaborativního pojetí učení a objevování pomocí pohybu a dotyku s realitou. Jako další možné formy respondenti označili např. badatelské učení či nové typy her založené na práci s rozšířenou realitou.

E2.3a) Simulace a experimenty ($n_v = 8 = 38,1 \%$)

E2.3b) Kolaborativní učení ($n_v = 6 = 28,6 \%$)

E2.3c) Učení s fyzickou aktivitou žáka (manipulace s obsahem) ($n_v = 4 = 19 \%$)

E2.3d) Objevování pomocí pohybu a dotyku ($n_v = 3 = 14,3 \%$)

E2.3e) Badatelské učení ($n_v = 1$)

E2.3f) Nové typy her s podporou rozšířené reality ($n_v = 1$)

Z odpovědí na druhou otázku (E2) vyplynulo, že všichni respondenti shledávají rozšířenou realitu jako technologii s potenciálem pro edukační využití. Výsledná data lze interpretovat do následujících závěrů, které shrnují hlavní významné vize a názory na didaktické využití rozšířené reality z pohledu dotazovaných expertů.

Rozšířená realita nabízí imerzivní a interaktivní prostředí s prostorovou prezentací jevů pro více percepčních kanálů. Imerze (*E2.1a*) a prostorovost (*E2.1c*) byly jedny z nejčastěji se vyskytujících pojmů ve výrociích respondentů. Společně s možností zaměřit se na více smyslů zároveň se jednalo o nejdůležitější přednosti rozšířené reality z pohledu respondentů.

Rozšířená realita podporuje aktivní zapojení žáka do učení. Tento závěr lze vyvodit z povahy trsů v kategorii E2.3, ve které v podstatě všechny respondenty zmíněné výroky ohledně forem a metod použití rozšířené reality ve vzdělávání korespondují s aktivními organizačními formami učení (kolaborativní učení, experimenty, badatelské učení apod.). Takový závěr umocňuje i relativně vysoká četnost některých trsů v rámci této kategorie a četnost (33,3 %) prvního trsu *E2.2a*) v kategorii E2.2, resp. výroků zmiňujících chemické experimenty jako potenciálně silné téma pro využití AR.

4.2 Dotazníkové šetření mezi pedagogy

Kvalitativní dotazníkové šetření mezi pedagogy bylo zaměřeno především na aplikační oblast rozšířené reality v edukačním prostředí s cílem získat z řad učitelů v praxi podněty a inspirace pro aplikační řešení rozšířené reality v oblasti vzdělávání. Pedagogové z učitelské praxe byli vybráni záměrně, neboť se předpokládá jejich odbornost v obsahové a didaktické rovině oborových předmětů, jejichž výuce se věnují. Zároveň byla předpokládána jejich nezátíženost odbornou stránkou (technologicko-funkční) rozšířené reality, díky čemuž nemusí být limitováni technickými aspekty možných aplikačních řešení rozšířené reality ve svých odpovědích.

Charakter cílové skupiny respondentů byl stanoven podle následujících výběrových kritérií: (1) respondent musí být pedagog z výukové praxe, nejlépe učitel působící na ZŠ a SŠ (primární a sekundární vzdělávání – ISCED 1, 2 a 3); (2) musí být zajištěn osobní kontakt mezi výzkumníkem a respondentem před vyplněním dotazníku. Kritérium č. 2 bylo stanoveno za účelem zajištění alespoň

minimální potřebné znalostní úrovně ve věci základního principu technologie rozšířené reality u všech respondentů.

Vzhledem k zaměření dotazníku byly navrženy dvě otevřené otázky, z nichž první (P1) byla cílena na zjištění názorů respondentů na obecné možnosti využití rozšířené reality ve vzdělávání, druhá (P2) pak na získání příkladů konkrétních didaktických situací. Úlohou první otázky bylo zjistit, jak nahlízejí respondenti na rozšířenou realitu v roli technického výukového prostředku a na možnosti implementace této technologie do procesů vzdělávání z obecného hlediska. Díky své otevřenosti otázka umožňovala respondentovi vyjádřit i své osobní postoje a dojmy z představy využití rozšířené reality ve vzdělávání, případně uvést i určité benefity či rizika z používání rozšířené reality. Druhá otázka měla za úkol zjistit, jaké konkrétní didaktické situace či aplikační řešení s využitím rozšířené reality si respondenti dokáží představit. Cílem této otázky bylo získat inspirativní nápady a příklady konkrétních didaktických situací od pedagogů z praxe, jež by posléze mohly vést k zobecnění didaktických situací ve smyslu naplnění dílčího cíle práce C6.

P1: Jaké spatřujete obecné možnosti využití rozšířené reality ve vzdělávání?

P2: Jaké konkrétní příklady využití rozšířené reality ve vzdělávání Vás napadají? Uveďte, prosím, konkrétní didaktické situace.

Samotnému zadávání dotazníku předcházelo krátké úvodní seznámení respondentů s technologií rozšířené reality a různými systémy aplikačních řešení rozšířené reality v podobě výzkumníkem živě komentované několika minutové video projekce¹⁷⁹, které mělo za cíl zajistit u respondentů požadované vstupní znalosti principu a funkčních možností rozšířené reality.

4.2.1 Realizace dotazníkového šetření mezi pedagogy

Vybraní účastníci dotazníkového šetření byli osloveni na předem domluvených setkání na svých školách nebo v rámci výuky celoživotního vzdělávání na pracovišti výzkumníka. Respondenti byli průběžně oslovováni v období leden až říjen 2012, většinou ve skupinách pěti až patnácti učitelů. Celkem bylo osloveno 173 učitelů, z nichž patnácti byl dotazník předán pouze v písemné podobě, třem v elektronické a zbylým sto padesáti pěti byl dotazník předán v obou podobách.

Vzhledem k zajištění přímého kontaktu výzkumníka s respondenty během úvodního seznámení respondentů s rozšířenou realitou mohl být dotazník distribuován v písemné formě přímo do rukou respondentů. V závislosti na okolnostech během realizace dotazníkového šetření a na případné možnosti dalšího kontaktu respondentů s výzkumníkem vyplnili respondenti dotazníky přímo na

¹⁷⁹ Video je dostupné na <http://www.youtube.com/watch?v=yQUE6ub1oBM> a je rovněž součástí příloh této práce jako Příloha C.

místě a odevzdali výzkumníkovi, nebo si dotazník ponechali a odevzdali při dalším setkání. Dotazník byl rovněž vyhotoven v elektronické verzi¹⁸⁰ obdobnou formou jako dotazník určený expertům (viz kapitola 4.1.1). Respondenti tak měli možnost místo vyplnění papírové formy dotazníku předat výzkumníkovi svou e-mailovou adresu, na kterou jim byla posléze zaslána stručná deskripce výzkumného záměru, URL adresa elektronické verze dotazníku a dotazníkové otázky.¹⁸¹ Díky formě e-mailové zprávy, která v sobě zahrnovala jak vlastní dotazník, tak odkaz na webový formulář, měl respondent možnost výběru přímé odpovědi e-mailem nebo skrze webové prostředí.

4.2.2 Výsledky dotazníkového šetření mezi pedagogy

Návratnost dotazníků byla 22,5 %, konkrétně tak bylo obdrženo 39 odpovědí. Relativně nízkou návratnost je možné vysvětlit typem dotazníkových otázek, které byly otevřené, a ačkoliv byly pouze dvě, vyžadovaly delší čas, klid a určité úsilí nad jejich zodpovězením. Rovněž tento fakt mohl být způsoben určitým nezájmem u respondentů o technologii rozšířené reality či jejich odporem vůči novým technologiím, případně přehlcením množstvím dalších dotazníkových šetření.

Získaná kvalitativní data od respondentů byla vyhodnocována stejným postupem jako v případě dotazníkového šetření mezi experty¹⁸², tedy pomocí otevřeného kódování, vytvoření trsů a následným sloučením blízkých trsů do určených kategorií. U první otázky orientované na obecné možnosti využití rozšířené reality ve vzdělávání byly určeny celkem tři kategorie sdružující 5, 8 a 5 trsů.

P1.1 Didaktický aspekt rozšířené reality

Kategorie P1.1 sdružuje trsy výroků, které charakterizují didaktické aspekty rozšířené reality. Jednotlivé trsy v této kategorii se vyznačují překvapivě vysokou četností, což nasvědčuje, že panovala relativně vysoká shoda v názorech respondentů v této oblasti. V rozšířené realitě vidí respondenti především vhodnou možnost nahradit drahé či nedostupné pomůcky, resp. technický prostředek pro názornou prezentaci učiva ve 3D.

P1.1a) Náhrada za drahé či nedostupné pomůcky, případně jejich nedostatek ($n_v = 9 = 23,1 \%$)

P1.1b) Poskytování informací krok za krokem ($n_v = 7 = 17,9 \%$)

P1.1c) Názornost ($n_v = 7 = 17,9 \%$)

P1.1d) Upoutání pozornosti žáka ($n_v = 4 = 10,3 \%$)

P1.1e) 3D prezentace / realistická prezentace ($n_v = 3 = 7,7 \%$)

¹⁸⁰ URL adresa dotazníku jednoho respondenta: <http://kraken.pedf.cuni.cz/vyzkum-ar/respondped.php?key=15585867713> (Otisk obrazovky s dotazníkem je součástí příloh jako Příloha D).

¹⁸¹ Vzor e-mailové zprávy je součástí příloh jako Příloha E.

¹⁸² Viz kapitola 4.2.2 Výsledky dotazníkového šetření mezi pedagogy.

P1.2 Vhodná témata a oblasti vzdělávání pro využití rozšířené reality

Kategorie sdružující výroky ohledně možných témat a oblastí vzdělávání s využitím rozšířené reality je z hlediska rozmanitosti výroků nejčtenější. Některé trsy jsou svým významem na pomezí mezi výukovým tématem a konkrétním využitím či didaktickou situací, nicméně z hlediska cíle výzkumného šetření (získat podněty pro realizaci výzkumného projektu) bylo vhodné výroky takového typu do této kategorie zařadit.

P1.2a) Přírodovědné předměty ($n_v = 6 = 15,4 \%$)

P1.2b) Pochopení skrytých souvislostí ($n_v = 5 = 12,8 \%$)

P1.2c) Zrychlené znázornění dlouhotrvajícího jevu ($n_v = 4 = 10,3 \%$)

P1.2d) Pohled do výrobních a specializovaných pracovišť, kam by se běžně žáci nedostali ($n_v = 3 = 7,7 \%$)

P1.2e) Automechanik, švadlena, kadeřník ($n_v = 3 = 7,7 \%$)

P1.2f) Práce s modely ($n_v = 3 = 7,7 \%$)

P1.2g) Individuálního přístupu k žákovi pro prezentaci určitého jevu ($n_v = 1$)

P1.2h) Hry se sociálním podtextem ($n_v = 1$)

P1.3 Možné problémy a překážky při využití rozšířené reality ve vzdělávání

Vyroky v trsech v této kategorii, které souvisejí s první otázkou v rámci šetření mezi pedagogy, jsou charakteristické svým negativním postojem k možnosti využití rozšířené reality ve vzdělávání. Jedná se o výroky vyjadřující obavy respondentů z použití AR ve výuce, případně možné problémy a překážky pro její nasazení do edukační praxe. Kromě nedostatku financí a příliš vzdálené budoucnosti (ve smyslu reálného praktického využívání AR ve výuce) respondenti vyjádřili především obavy související s negativním dopadem na zdraví žáků (poškození zraku; problémy s prohloubením problematických psychických stavů či nemocí - např. epilepsie) či obavy z většího sociálního odtržení.

P1.3a) Nedostatek financí ($n_v = 3 = 7,7 \%$)

P1.3b) Poškození zraku ($n_v = 2 = 5,1 \%$)

P1.3c) Hudba budoucnosti ($n_v = 2 = 5,1 \%$)

P1.3d) Zapříčinění většího odtržení sociální stránky ($n_v = 1$)

P1.3e) Problém s prohloubením špatných psychických stavů žáků s poruchami či psychickými nemocemi ($n_v = 1$)

Výše uvedené výsledky odpovědí respondentů na první otázku lze sumarizovat do následujících několika závěrů reflektujících nejdůležitější významy analyzovaných dat z pohledu cíle výzkumného šetření.

Rozšířená realita nabízí poutavé a názorné prostředí s možností postupné a opakované prezentace výukového obsahu jako. Tento závěr reflektuje nejvýraznější výroky z kategorie P1.1 a odráží skutečnost, že respondenti vidí výukový potenciál v rozšířené realitě jako technickém výukovém prostředku. Tuto domněnku potvrzuje také nejčtenější trs výroků *P1.1a*), ve kterém respondenti chápou rozšířenou realitu jako nástroj pro zprostředkování pomůcek, které jsou zcela nedostupné, nebo je jejich pořízení obtížné či nákladné.

Rozšířená realita umožňuje zprostředkovat skryté či žákovi jinak nedostupné informace, jevy a skutečnosti. Trsy *P1.2b*), *P1.2c*) a *P1.2d*) se vyznačují společným významem ve smyslu zprostředkování informací, jevů a souvislostí, které jsou žákovi těžko znázornitelné, a jejichž pochopení bez názorné ukázky či okolních souvislostí může být obtížné. Tento závěr rovněž podtrhuje povaha výroků v těchto trsech, které byly často doplněny vyjádřením o vhodnosti takového využití, motivaci pro žáky, výrazném zpestření učiva či zjevném přínosu pro výuku.

Reálné využití rozšířené reality ve školách sebou nese řadu organizačních obtíží a možné negativní dopady na zdraví žáků. Názory a obavy respondentů ohledně vhodnosti technologií rozšířené reality (zejména binokulárních HMD systémů) z hlediska fyziologického a psychického poškození žáků, resp. jejich zraku byly sice ojedinělé, nicméně vnáší do problematiky využití rozšířené reality ve vzdělávání otázku, zda a jakým způsobem by učitelé přijali tuto technologii. U těchto respondentů lze předpokládat též tzv. „strach z neznámého“, který může takové stanovisko podněcovat. Může se však jednat o obecnější jev, který může znamenat problém pro začlenění nových technologií do edukačního procesu. Výroky ohledně další překážky v podobě malých finančních prostředků ve školství byly očekávatelné a v kontextu určitých technologických řešení systémů AR jsou na místě.

Druhá otázka byla zaměřena na získání inspirativních nápadů a příkladů konkrétních didaktických situací s využitím rozšířené reality od respondentů. Z tohoto důvodu nebylo provedeno shlukování kódovaných výroků do trsů a kategorií, ale byly vybrány přímo nejzajímavější příklady. U některých příkladů byl zaznamenán jejich výskyt i v odpovědích jiných respondentů. U takových příkladů je tedy uvedena i jejich četnost (n_v) a je možné je v podstatě považovat za trsy výroků. Následující výčet jednotlivých výroků je seřazen dle jejich četnosti a následně dle jejich inspirativního přínosu pro další část empirického výzkumu.

P2.a) Při opravě automobilu ($n_v = 5$)

P2.b) Zobrazení trojrozměrných orgánů v těle ($n_v = 3$)

P2.c) Zobrazení historických staveb ($n_v = 3$)

P2.d) Rozfázované šití hraček, pletení košíků, drhání náramků ($n_v = 3$)

P2.e) Projekce malby ve výtvarné výchově

P2.f) Při čtení pohádky O červené karkulce by se mohli žáci ocitnout v lese a potkat vlka

- P2.g) Zrychlená přeměna květu na plod
- P2.h) Vizualizace prázdných interiérů a staveb
- P2.i) Zobrazení modelů v architektuře
- P2.j) Zobrazení řezu těles
- P2.k) Struktura krystalů v chemii
- P2.l) Seznámení žáků s konstrukcí a principem truhlářských strojů
- P2.m) Vizualizace map
- P2.n) Interaktivní učebnice
- P2.o) Ukázat vesmír, jiné země a kultury, lidi jiné barvy pleti

Nejvyšší četnost u výroku *P2.a)* a výroky v trsu *P2.b)* je možné přičíst ukázce využití rozšířené reality v rámci představení tohoto konceptu respondentům, která obsahovala video zobrazující automechanika s HMD při opravě automobilu s využitím AR a 3D model lidských orgánů. Z uvedených příkladů rovněž vyplývá, že ačkoliv byl respondentům na začátku výzkumného šetření vysvětlen princip rozšířené reality, mnoho z nich uvažuje možnosti jejího vyžití jako nástroje pro vizualizaci obsahu bez kontextu okolní reality (např. výroky *P2.d)*, *P2.i)*, *P2.k)* nebo *P2.o)*). Je možné, že tyto zmíněné příklady uvažovali respondenti v kontextu reálného prostředí, nicméně tuto informaci přímo nesdělili. Výroky *P2.i)*, *P2.m)* a *P2.n)* lze označit za příliš obecné, i když zajisté inspirativní.

4.3 Výzkumný projekt

Výstupy dotazníkového šetření mezi pedagogy přispěly ke koncipování třetí části výzkumného šetření, empirického výzkumného projektu, který usiloval o příspěvek k dosažení cílů práce C4, C5, C6 a C7. Kvalitativně pojatý výzkumný projekt byl zaměřen na různé druhy výukových aplikačních řešení rozšířené reality a způsoby jejich nasazení ve výuce v roli technického výukového prostředku. Záměrem výzkumného projektu bylo podrobit různé případy nasazení rozšířené reality ve výuce komplexnímu zkoumání, a to z různých hledisek, zejména didaktických. Cílem realizovaného výzkumu bylo získat relevantní informace o funkci rozšířené reality ve výuce v roli technického výukového prostředku skrze reflexi žáků a učitele ke konkrétním aplikačním řešením, a tím přispět k objasnění dílčích výzkumných problémů práce, zejména v oblasti didaktických specifik rozšířené reality a typologie didaktických situací vhodných pro aplikaci rozšířené reality.

Na základě záměru a cíle výzkumu byla jako zastřešující výzkumná metoda zvolena deskriptivní případová studie. Případová studie umožňuje zachycení složitosti případu, popisu vztahů a díky

důkladnému prozkoumání jednotlivých případů porozumění jiným, podobným případům.^{183, 184} Ve svém zkoumání se studie zaměřila zejména na exemplární případy nasazení typově rozličných aplikačních řešení rozšířené reality do výukové praxe v rámci adekvátních výukových celků (dále jen případy) a na jevy s tímto související, zejména na postoje zúčastněných (žáků a učitele) k obsahu a formě jednotlivých případů a technologii samotné. Výrazně se studie zaměřila zejména na roli vyučujícího a jeho postoj k fenoménu rozšířené reality a jejího používání v rámci své pedagogické praxe. Jelikož se studie zaměřovala na více případů, jednalo se o typ mnoho případové studie.¹⁸⁵ Jednotlivé případy měly společný rys v použití technologie rozšířené reality jako technického výukového prostředku a v účasti vždy stejné skupiny žáků a vyučujícího¹⁸⁶, lišily se však organizační formou výuky, obsahovým zaměřením, didaktickými metodami i cílem výuky.

Jednotlivé případy byly realizovány podle modelu pro-aktivního akčního výzkumu¹⁸⁷, který byl iniciován výzkumníkem a zabezpečený pedagogem s technickou podporou výzkumníka. Vlastní akční výzkum nebyl součástí předmětu zkoumání případové studie, ale prostředkem, jak zajistit požadované případy. Rovněž přinesl hlubší a souvislý vhled vyučujícího do problematiky možnosti uplatnění rozšířené reality ve vzdělávání a tím hodnotnější reflexi vyučujícího k dané problematice v rámci případové studie.

4.3.1 Přípravná fáze výzkumného projektu

Realizace výzkumného projektu, resp. sběr dat o jednotlivých případech v rámci studie logisticky i časově závisel na průběhu iniciovaného akčního výzkumu, tedy na společném plánování a součinnosti výzkumníka s vybraným vyučujícím a jeho harmonogramem výuky na své škole. Výzkum probíhal na úrovni vybrané školní třídy základní školy po dobu jednoho školního pololetí a jeho účastníky byli žáci a učitel dané třídy. Podmínkami, které se jevily jako důležité u vybraného vyučujícího, byly (1) jeho entusiasmus pro začlenění rozšířené reality do své výuky za účelem změnit či obohatit svůj repertoár didaktických pomůcek a metod, (2) vize vhodných didaktických situací pro využití rozšířené reality v rámci své výuky v průběhu trvání výzkumného projektu a (3) ochota systematicky spolupracovat s výzkumníkem v celém průběhu výzkumného projektu a podílet se na průběžném vylepšování a ladění jednotlivých případů nasazení aplikačních řešení AR

¹⁸³ HENDL, Jan. *Úvod do kvalitativního výzkumu*. Praha: Karolinum, 1997. 243 s. ISBN 80-7184-549-3.

¹⁸⁴ HENDL, Jan. *Kvalitativní výzkum: základní metody a aplikace*. Praha: Portál, 2005. 1. vydání. 408 s. ISBN 80-7367-040-2. s. 104 – 111.

¹⁸⁵ *Ibid.*, s. 110-111.

¹⁸⁶ Případná absence několika žáků ve vyučovacích hodinách, kdy probíhala jednotlivá nasazení aplikačních řešení, je vzhledem k celkovému pojetí studie zanedbatelná.

¹⁸⁷ NEZVALOVÁ, Danuše. Akčním výzkumem k zlepšení kvality školy. *e-Pedagogium* (on-line), 2002, roč. 2, č. 4. [cit. 2013-02-17]. ISSN 1213-7499. Dostupné z: <http://epedagog.upol.cz/eped4.2002/clanek02.htm>.

ve své výuce. Na základě těchto podmínek a výběrových faktorů, které se zaměřovaly na předmětovou oblast vyučujícího, stupeň vzdělávání, na kterém pedagogicky působí, a otevřenost vůči aplikaci inovativních přístupů a technologií do výuky, byla vybrána vyučující působící na 2. stupni ZŠ (dále vyučující a škola) s předmětovým zaměřením Dějepis a Výtvarná výchova. Další účastníci výzkumu byli žáci 7. třídy na téže škole (dále zkoumaná třída) v počtu 25 žáků ve věku 12 až 13 let, kteří měli své předměty Dějepis a Výtvarná výchova po celou dobu trvání výzkumného projektu s vybranou vyučující.

Iniciovaný akční výzkum

Před samotnou přípravou a zahájením akčního výzkumu byla vyučující podrobně seznámena s konceptem rozšířené reality, zejména možnostmi její aplikace z pohledu funkčnosti. Z důvodu požadavku na maximálně možnou kreativitu a inovaci ze strany vyučující, nebyla v této fázi vyučující záměrně zahlcována přílišnými detaily ohledně technických možností a omezení aktuálně dostupných systémů rozšířené reality. Následovalo několik společných setkání výzkumníka s vyučující, na kterých se vytvářel návrh a koncepce aplikačních řešení (z pohledu didaktického) rozšířené reality a harmonogram jejich nasazení v rámci výzkumu. Jednotlivá aplikační řešení byla v průběhu výzkumného projektu dále upravována či dotvářena v závislosti na zpětné vazbě od zkoumané třídy a samotné vyučující po jednotlivých aplikačních případech.

4.3.2 Použité výzkumné metody

Případová studie se ve svém zkoumání zaměřila především na jevy související s nasazením rozšířené reality a na postoje zúčastněných k tomuto fenoménu, zejména pak na reflexi vyučující k nasazení rozšířené reality do výuky a její názor na konkrétní aplikační řešení. U žáků se zaměřila na hodnocení a postoje ke konkrétní aplikaci rozšířené reality. Základními metodami použitými pro sběr dat v rámci případové studie byly zúčastněné pozorování, preferenční dotazníky administrované po každé výuce s aplikací rozšířené reality a částečně strukturovaný rozhovor s vyučující.

Zúčastněné pozorování probíhalo ve všech případech po celou dobu trvání daného vyučování, takže se mohl výzkumník zaměřit i na související jevy, které předcházely či následovaly po konkrétním použití AR. Pozorování se zaměřovalo především na aktivity žáků souvisejících s jejich činnostmi s rozšířenou realitou. Konkrétně se jednalo o to, jakým způsobem byli žáci schopni ovládat systém AR a manipulovat s ním, jak pochopili danou aplikaci AR ve smyslu ovládnutí a průchodu aplikací, jak během práce s rozšířenou realitou vzájemně spolupracovali a zda projevovali zájem o opakované použití aplikace AR v rámci dané výuky. Během pozorování byla rovněž zaznamenávána délka trvání výuky s aplikací AR a problémy (zejména časová ztráta) související

s přípravou části výuky s použitím rozšířené reality. Pozorování byla zaznamenávána do záznamového archu, jehož ukázka je součástí práce v podobě přílohy Příloha F.

Preferenční dotazníky byly sestaveny ze čtyř otázek zaměřených na názory žáků na složitost dané aplikace (Ot1), zájem, který u nich aplikace vzbudila (Ot2), zda vnímají použité aplikace jako hru (Ot3) a zejména na preferenci dalšího použití rozšířené reality ve výuce (Ot4). Ukázka preferenčního dotazníku je součástí práce v podobě přílohy Příloha G. Stanovení hodnotící škály vycházelo z klasické Likertovy pětibodové škály.¹⁸⁸ Pro následné statistické zpracování dotazníků byly hodnotící škály převedeny na číselný interval 1 až 5, viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

	1	2	3	4	5
Ot1	Velmi jednoduchá	Jednoduchá	Normální	Složitá	Velmi složitá
Ot2	Velmi zajímavé	Zajímavé	Normální	Nudné	Velmi nudné
Ot3	Určitě učení	Spíš učení	Nevím	Spíš hra	Určitě hra
Ot4	Určitě ano	Spíš ano	Nevím	Spíš ne	Určitě ne

Tab. 3 - Mapování číselných intervalů na hodnotící škály v preferenčním dotazníku

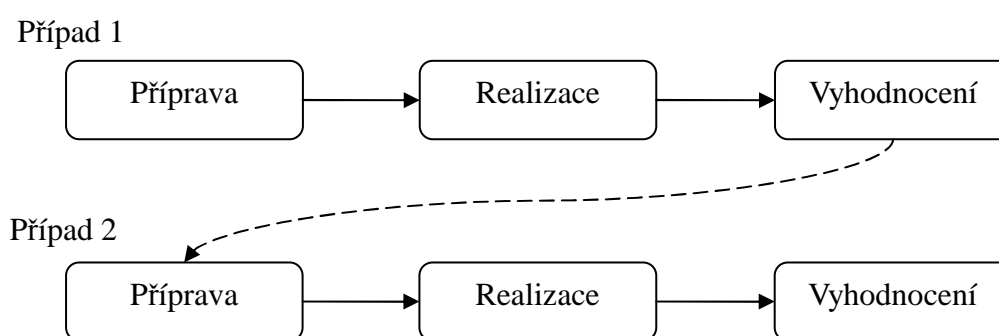
Částečně strukturovaný rozhovor s vyučující byl realizován po ukončení akčního výzkumu a zaměřoval se na pohled vyučující na následující témata, ze kterých se generovaly konkrétní dotazy pro rozhovor: naplnění předpokladů a očekávání z hlediska zamýšleného cíle výuky a přínosu pro výuku; obsahová kvalita a zpracování jednotlivých aplikací AR; obohacení svých vyučovacích přístupů; porovnání s jinými výukovými metodami a organizačními formami; zda a jak bylo využití rozšířené reality přínosné vzhledem k organizačním problémům s tím spojených; možnost vlastní přípravy aplikací AR.

4.3.3 Realizace a vyhodnocení výzkumného projektu

Realizovaný výzkumný projekt probíhal po dobu jednoho školního pololetí v období září 2012 až leden 2013. V rámci realizovaného akčního výzkumu byla nasazena různá aplikační řešení rozšířené reality, která byla koncipována na základě podnětů získaných z dotazníkových šetření mezi pedagogy a v kontextu didaktických záměrů sledovaných vyučující. Tato řešení rovněž korespondovala s technologickými, výsledkovými a percepčními hledisky, stanovenými v teoretické části této práce. Důležitým hlediskem pro výběr konkrétních aplikačních, resp. technických řešení byly rovněž reálné technické a finanční možnosti škol a vzdělávacích institucí k zajištění potřebného technického vybavení, a to s výhledem dvou až tří let. Na základě daných parametrů

¹⁸⁸ HAYES, Nicky. *Základy sociální psychologie*. Praha: Portál, 1998. ISBN 80-7178-198-3. Kapitola Měření postojů, s. 112.

bylo vybráno technické řešení v podobě tabletů s rozlišením displeje 7.0“ WSVGA vybavených přední i zadní kamerou a GPS. Pro některá aplikační řešení byly použity rovněž netbooky 12“ vybavené webkamerou, které v takových případech splňovaly téměř totožné požadavky jako tablety. Všechny aplikace byly vytvořeny za pomoci volně dostupných programových vybavení, konkrétně frameworku pro tvorbu rozšířené reality D’Fusion Studio od společnosti Total Immersion¹⁸⁹ a následného kompilování takto vytvořených aplikací pro systém Android (tablety), případně pro operační systém Windows (netbooky). V některých případech bylo využito řešení založené na aplikaci Layar¹⁹⁰ pro mobilní zařízení, která nabízí jiné možnosti než Dfusion Studio, a to především s využitím parametrů uživatele. Z technologického hlediska byly systémy rozšířené reality limitovaně víceuživatelské, vyznačovaly se alokací obou složek rozšířené reality uvnitř technického zařízení a umožňovaly přímou interakci mezi uživatelem a systémem. V rámci výzkumného projektu bylo aplikováno celkem šest aplikačních řešení, která víceméně reprezentovala různé typové skupiny z hlediska percepčního a výsledového. Z hlediska edukačního záměru¹⁹¹ se jednalo především o navýšení informační hodnoty a simulace jevů, dějů a procesů. U každého případu lze identifikovat fázi přípravy, realizace a vyhodnocení. V rámci přípravné fáze probíhala konzultace s vyučující ohledně tématu a zaměření aplikace, následoval vývoj a případné odladění dle připomínek ze strany vyučující. S vyučující se konzultovaly případně i postřehy a připomínky k předchozímu případu. V průběhu realizace probíhalo zúčastněné pozorování výzkumníkem a na konci této fáze bylo provedeno preferenční dotazníkové šetření mezi žáky. Vyhodnocení každého případu probíhalo na základě pozorování a preferenčního dotazníku vztaheného k danému případu. Vyhodnocení každého případu částečně ovlivnilo i přípravnou fázi následujícího případu.



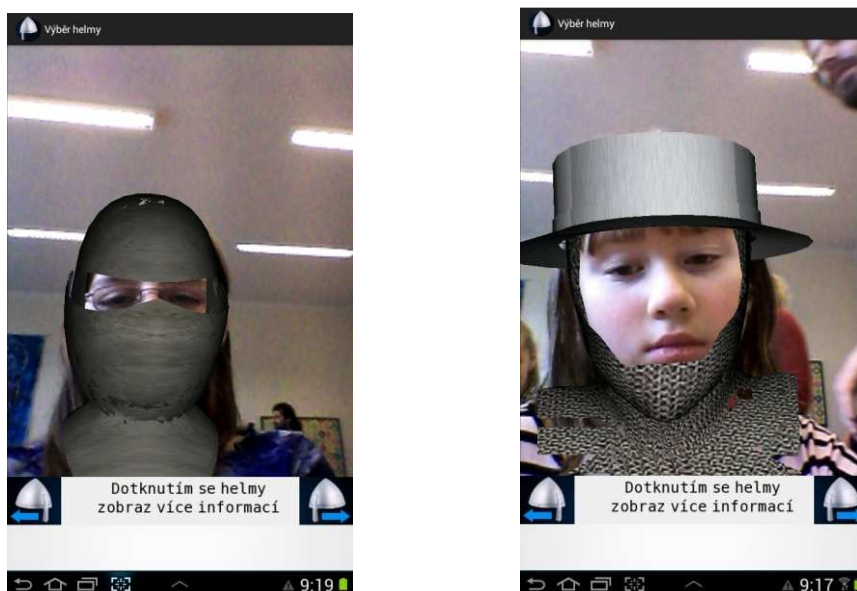
Obr. 35 - Schéma znázorňující organizaci případů v rámci případové studie

¹⁸⁹ D’Fusion Studio. Augmented Reality Software and Solutions by Total Immersion. Dostupné z: <http://www.total-immersion.com/products/dfusion-suite/dfusion-studio>.

¹⁹⁰ Layar App. Layar. Dostupné z: <https://www.layar.com/products/app/>.

¹⁹¹ Viz druhy edukačních záměrů definované v kapitole 3.5.

Prvním příkladem (P1) nasazeného řešení byla aplikace typu poznávání, která seznamovala žáky s různými druhy rytířské zbroje z období středověku z různých evropských zemí. Aplikace pojmenovaná Helmy měla za cíl, aby se žáci naučili identifikovat základní typy rytířské zbroje s konkrétní zemí a časovým obdobím. Řídící informací pro systém byl prvek reálného prostředí, konkrétně obličej uživatele. Aplikační řešení se vyznačovalo aktivním účastnictvím uživatele a relativně realistickým zobrazením virtuální složky ve formě statických či animovaných 2.5D objektů. Systém po detekci obličeje uživatele skrze zobrazení vygenerovaného objektu na požadovaných koordinátách v obraze „oblékl“ uživatele do části zbroje od ramen výše. Uživatel měl možnost dotykem (v případě netbooku kliknutím) na sebe v obraze získat více informací ohledně dané zbroje.



Obr. 36 - Ukázky aplikace rozšířené reality Helmy

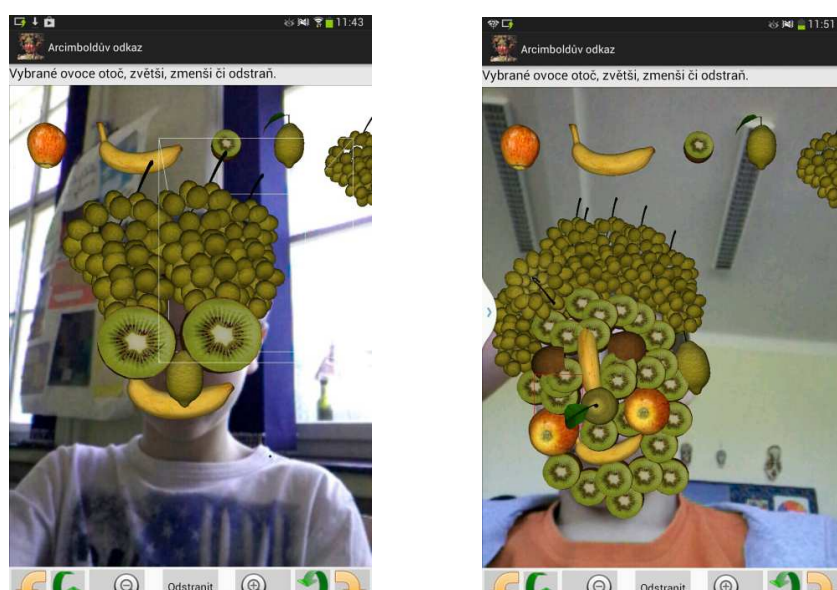
Při realizaci tohoto případu nastala cca pětminutová časová ztráta ve výuce spojená s přípravou zařízení a instruktáží žáků, jakým způsobem aplikaci spustit a používat. Z pozorování dále vyplynulo, že žáci většinou neměli problém s ovládním aplikace AR ani zařízení samotného. U některých žáků s brýlemi bylo rozpoznání obličeje ze strany systému o něco problematičtější a žáci museli být preciznější ve správném nastavení obličeje vůči snímací kameře zařízení. Z hlediska spolupráce žáci čteně využívali možnosti zaznamenat snímek obrazovky a podělit se o něj s ostatními. Pozorovaný zájem ze strany žáků o opakované použití této aplikace v rámci dané hodiny byl potvrzen rovněž v závěrečném rozhovoru s vyučující (viz konec této kapitoly). Z preferenčních dotazníků, že toto využití AR ve výuce žáci chápali především jako hru (Ot3) a z hlediska možnosti další výuky s rozšířenou realitou (Ot4) se vyjádřili výrazně pozitivně.

V dalším případě (P2) bylo použito aplikace Dýmějový mor, jež byla využita k procvičení učiva v rámci tématu Středověk a morová epidemie v Evropě. Z percepčních a technologických hledisek se jednalo o stejný typ řešení rozšířené reality jako v případě aplikace Helmy. Výuka v tomto případě byla realizována rovněž podobně jako v předchozím případě včetně technického zajištění. Žáci pomocí odpovědí na tematické otázky procházeli různými stádii dýmějového moru. Z pozorování bylo patrné, že žáci ve druhém případě nepotřebovali bližší instruktáž a samostatně byli schopni si požadovanou aplikaci spustit a procházet. Jelikož se jednalo sofistikovanější aplikaci z hlediska didaktického záměru než v případě aplikace Helmy, vyučující instruovala žáky více v kontextu daného tématu a následující částí hodiny, kde žáci uplatňovali poznatky získané z dané aplikace AR. Následné hodnocení žáků v preferenčních dotaznících tomuto faktu částečně odpovídalo, zejména v odpovědi na otázku Ot3, kde oproti předchozímu případu (Helmy) žáci více chápali danou aplikaci jako učení, případně si nebyli jisti.

Ve třetím případě (P3) byla využita aplikace Vesnice a výuka byla realizována ve venkovním prostředí. Žáci ve dvou až tříčlenných skupinách „stavěli“ na otevřeném prostoru různé typy vesnic dle okolních terénních podmínek, které byly vyučujícím předem stanoveny a skrze rozšířenou realitu žákům prezentovány. Jako řídicí informace byly použity speciálně vytvořené grafické prvky, které byly zaneseny do okolního terénu. Z pozorovacího schématu je patrné, že žáci s ovládním aplikace a systému AR neměli větší problémy. Spolupráce mezi žáky probíhala v průběhu celé expozice ve formě diskuse a vzájemného doplňování si informací. V rámci přípravy bylo nutné, aby si žáci před samotným zahájením práce s rozšířenou realitou vybrali konkrétní lokalitu a umístili přiřazený referenční prvek (řídicí informaci pro systém AR), což způsobilo asi pětiminutovou ztrátu. Princip aplikace, který spočíval v postupném přidávání referenčních prvků do zorného pole systému, žáci chápali a v tomto směru se nevyskytl žádný problém.

Ve čtvrtém případě (P4) s využitím aplikace Stěhování národů se jednalo o vizualizaci jevu s virtuální složkou v podobě animace znázorňující změny v rozmístění národů v Evropě v dané době. Reálnou složku zde představovala mapa a jednalo se o typicky jednouživatelské řešení nezávislé na lokaci. Způsob ovládním aplikace, resp. její průchod byl podobný jako u aplikace Helmy (P1) a částečně jako u aplikace Dýmějový mor (P2). Ačkoliv během pozorování nebyl zaznamenán výraznější problém s ovládním aplikace, odpovědi žáků na otázku Ot1 v preferenčních dotaznících byly mezi hodnotou *jednoduchá* a *normální* (hodnota 2,5). Spolupráce žáků zde probíhala pouze ojedinele, a to většinou v případech, když si chtěli ukázat svým spolužákům některou z konkrétních zobrazených animací. Časová ztráta během této expozice v podstatě nenastala.

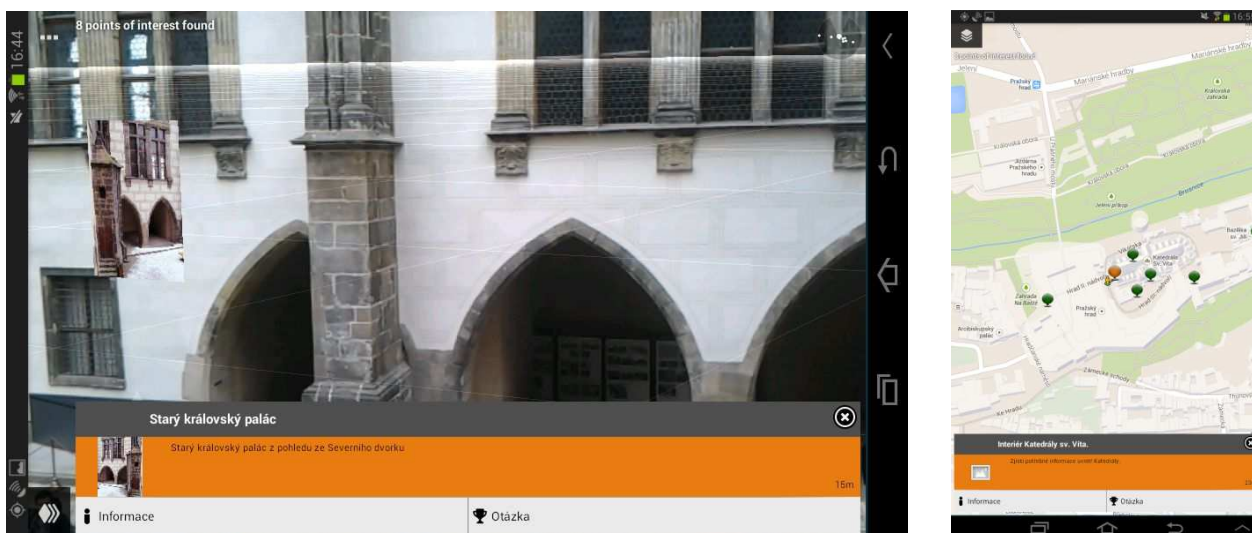
Další příklad nasazení rozšířené reality do výuky (P5) představovala interaktivní aplikace zaměřená na tvůrčí výtvarnou činnost žáků nazvaná Archimboldo. Jednalo se o vytváření obrazu inspirované specifickým stylem malíře Archimbolda, kdy žáci přesouváním objektů představujících různé druhy ovoce sestavovali koláž znázorňující obličej či bustu. Z technického hlediska byla aplikace řešena podobně jako první uvedený příklad (Helmy), průběh činnosti a didaktická podstata se však lišila. Zobrazený obličej uživatele představoval v podstatě plátno, na kterém vznikal výsledný obraz. Z hlediska povahy přidaných informací se jednalo o 2.5D statickou grafiku, obraz se tak jevil uživateli prostorový (měnil svou polohu a rotaci podle polohy obličeje) a tudíž systém umožňoval kompozici rovněž v ose Z. S jednotlivými objekty mohl uživatel manipulovat, konkrétně rotovat v rámci jednotlivých os a měnit velikost.



Obr. 37 - Ukázky aplikace rozšířené reality Archimboldo

Z pozorování vyplynulo, že ovládání aplikace bylo výrazně snazší na netbooku než na tabletu, neboť žáci museli při dotyku a přetahování vybraného ovoce stále držet tablet ve správné pozici vůči svému obličej. Určitý problém nastával při potřebě opětovné manipulace s vybraným ovocem, které bylo v některých případech nesnadné vybrat. Žáci takové situace intuitivně řešili pomocí umístění nového ovoce, tedy vytvořením další vrstvy. Jednotlivé možnosti aplikace žáci chápali a neměli větších problémů při manipulaci s objekty v rámci 3D prostředí (rotace ve všech třech směrech). Hledisko spolupráce v tomto případě bylo upozaděno, což mohlo být způsobeno zaujetím vlastní tvůrčí aktivitou. Žáci využívali možnost několikrát znovu vytvářet vlastní portréty; zájem zde byl vysoký. Vzhledem k několika předchozím zkušenostem s podobným principem použitého systému AR nedošlo k žádné časové ztrátě spojené s přípravou a organizací výuky. Byla pozorována vysoká míra samostatnosti jak ve fázi přípravy (rozdání tabletů a netbooků), tak při vlastní práci a po skončení.

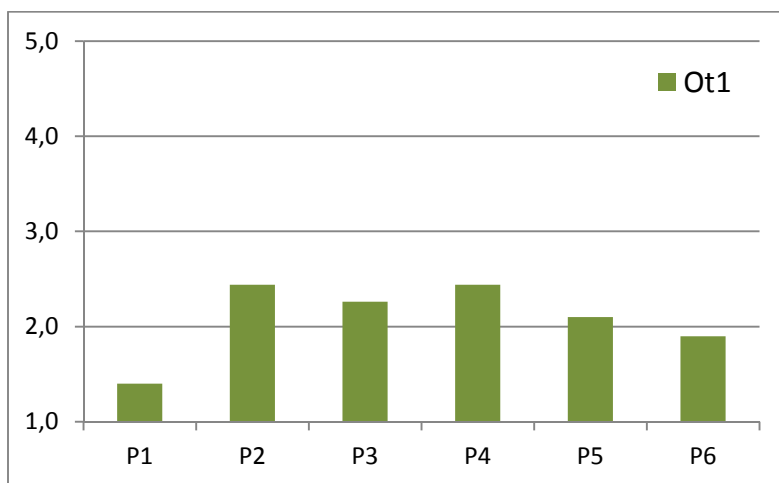
Poslední aplikační řešení (P6) s názvem Historie Pražského hradu bylo zaměřeno na upevnění již probírané látky a bylo součástí historické vycházky ve formě soutěže. Technicky bylo řešeno pouze pomocí tabletů s využitím GPS, zadní kamery a wifi připojení. Žáci měli za úkol postupně obejít konkrétní lokality, které byly určeny pomocí GPS souřadnic, a na nichž systém vždy zpřístupnil otázku či zadání úkolu pro danou lokalitu včetně pomocných multimediálních informací (popis objektů v okolí, krátký text, video aj.). Tento případ nasazení vyžadoval snadnou mobilitu systému a umožňoval práci v malých skupinách (např. dva až tři žáci s jedním zařízením). Řídicími informacemi byly parametry uživatele, konkrétně poloha uživatele a pozice a orientace zařízení. Žáci zaujímali roli pozorovatele v rozšířené realitě bez účasti. Aplikace se vyznačovala vysokou mírou interaktivity se zprostředkováním různého typu informací z hlediska kvality a charakteru. Skrze zařízení žáci nejdříve nahlíželi na okolní realitu jako celek, do něhož byly přidávány textové a fotografické informace o objektech ležících v určitém směru a vzdálenosti od uživatele. Interaktivita mezi uživatelem a systémem zde byla vysoká.



Obr. 38 - Ukázka aplikace Historie Pražského hradu

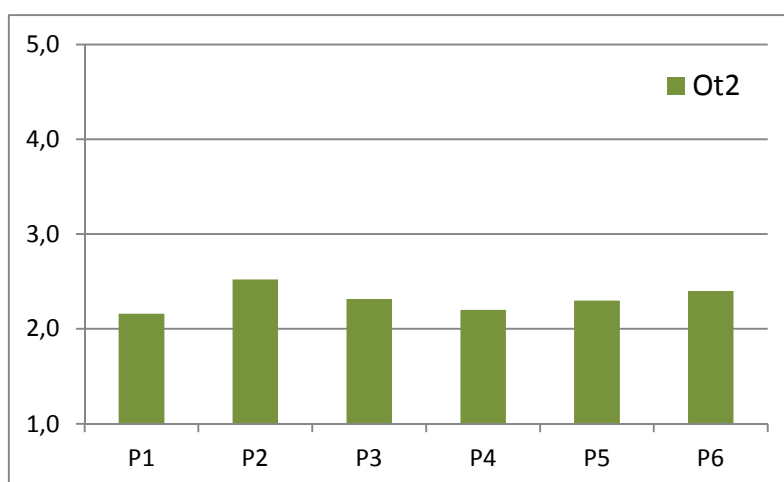
Při realizaci aplikace Historie Pražského hradu do výuky vznikly dva základní problémy, jeden technického a druhý realizačního rázu. Jejich důsledkem došlo k prodloužení této výuky zhruba o třetinu původně plánovaného času. První problém spočíval v nestabilním a slabém připojení k internetu, které bylo v místě lokality dostupné. Díky tomu docházelo často k výpadkům, resp. ke krátkodobé dysfunkci používané aplikace. Druhý problém souvisel s klimatickými podmínkami, které omezovaly či znesnadňovaly žákům práci se zařízením. I přes tyto vzniklé problémy spojené s realizací rozšířené reality v případě P6 neměli žáci výraznější problémy s pochopením a ovládním aplikace AR. Spolupráce žáků byla v tomto případě podnícena samotnou organizační formou a skutečností, že žáci pracovali ve skupinách, ve kterých společně aktivně dohledávali informace k zodpovězení otázek.

Celkem bylo v rámci preferenčního dotazníkového šetření získáno 131 dotazníků v šesti sadách. Z grafu (Obr. 39), který zachycuje průměrné hodnocení jednotlivých aplikací v odpovědích na otázku Ot1, vyplývá, že použité aplikace byly žáky vnímány jako dobře ovladatelné a jednoduché. Hodnocení v prvním případě (Helmy) průměrnou hodnotu 1,4 i přesto, že se jednalo o první seznámení žáků s rozšířenou realitou, může být důsledkem relativně jednoduše pojaté aplikace AR právě kvůli prvnímu setkání a neodrazení žáků složitou technologií.



Obr. 39 - Průměrné hodnocení otázky Ot1

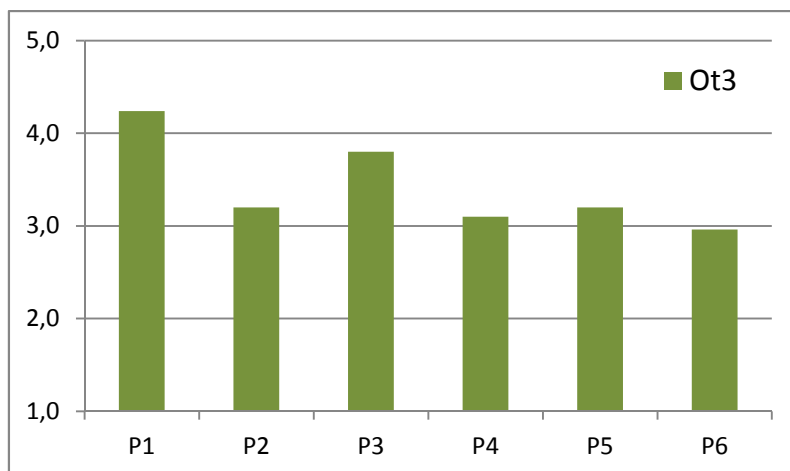
Ve svém hodnocení druhé otázky, jehož průměrné hodnoty zachycuje graf na Obr. 40, se žáci vyjádřili ve všech případech velmi podobně. Použití rozšířené reality ve výuce pro ně bylo vesměs zajímavé. Na základě hodnocení v rámci této otázky a výsledků průběžného pozorování výuky s rozšířenou realitou lze uvést, že žáci pracovali s rozšířenou realitou se zájmem včetně plnění souvisejících úkolů v dané výuce.



Obr. 40 - Průměrné hodnocení otázky Ot2

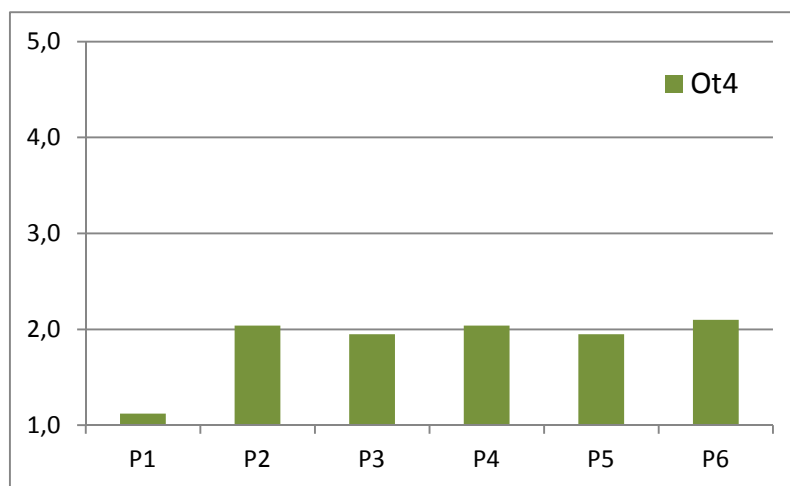
Názor na pojetí práce s rozšířenou realitou, zda se jednalo spíše o hru či spíše o učení, se v průběhu výzkumného projektu nepatrně měnil. Od prvního případu, kde se žáci přikláněli spíše k názoru, že

se jednalo o hru (určitě hra volilo 11 žáků a hra volilo 9 žáků), se postupně jejich názor měnil a použití rozšířené reality začali vidět neutrálně, resp. někteří se přikláněli ke hře, někteří k učení a někteří to nedokázali určit.



Obr. 41 - Průměrné hodnocení otázky Ot3

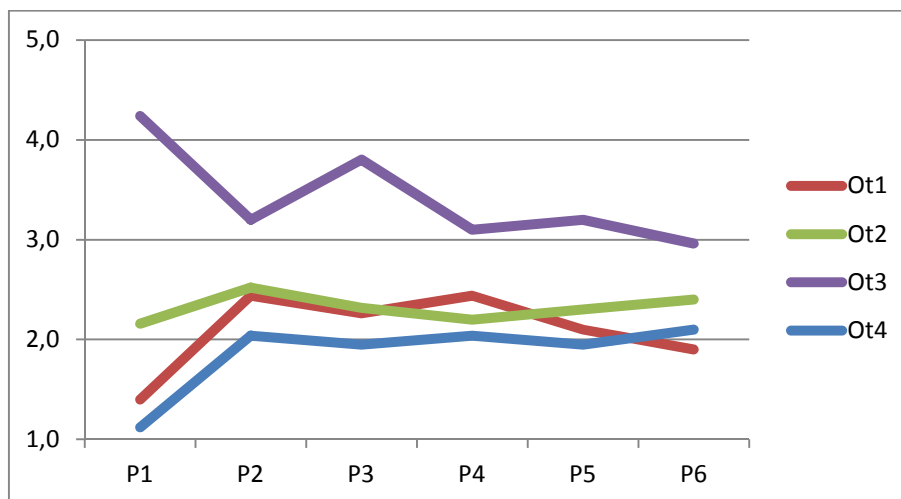
V poslední otázce dotazníku se žáci vyjadřovali k preferenci dalšího využití rozšířené reality v rámci výuky. Výsledky zachycené na následujícím grafu (Obr. 42) naznačují trvalou preferenci výuky s rozšířenou realitou v průběhu celého výzkumného projektu. První případ s takřka výhradním hodnocením *Určitě ano* lze přičíst formě a zaměření aplikace AR.



Obr. 42 - Průměrné hodnocení otázky Ot4

Následující graf (Obr. 43) zachycuje průměrné hodnoty odpovědí na jednotlivé otázky. Jak je patrné z jednotlivých datových řad, byla rozšířená realita z počátku studie žáky velmi pozitivně přijímána a chápána spíše jako určitá forma hry než učební pomůcka. Současně žáci vyjadřují velmi pozitivní postoj k dalšímu použití AR ve výuce. Tato situace může být způsobena faktorem novosti rozšířené reality ve výuce. Žáci jsou zaujati novou pomůckou, resp. novým způsobem výuky.

V průběhu dalších expozic datové křivky Ot2 a Ot4 dle očekávání konvergují s křivkou Ot3. Žáci přestávají vnímat rozšířenou realitu jako nový prvek výuky a jejich hodnocení se blíží neutrálnímu názoru. Přesto dále spíše vítají využití AR ve výuce a vnímají ji jako zajímavou. Zde lze usuzovat na substituci působení faktoru novosti faktorem didaktických specifik, resp. vlastností daného způsobu výuky.



Obr. 43 - Průměrné hodnoty odpovědí na jednotlivé otázky

Na datové ose Ot3 je možné pozorovat výchylku jinak zřejmého trendu. Tato výchylka mohla být způsobena zvolenou organizační formou výuky a typem aplikace. Expozice P3 byla prováděna v rámci terénní projektové výuky.¹⁹² Pro žáky není tato forma obvyklá a mohlo dojít k ovlivnění jejich hodnocení použité aplikace AR. Statisticky významná je korelace otázek Ot3 a Ot4 (-0.87 na hladině $p=0.05$). Tato korelace naznačuje, že preference použití rozšířené reality v další výuce úzce souvisí s vnímáním daného aplikačního řešení jako hry.

V rámci závěrečného částečně strukturovaného rozhovoru vyučující akcentovala ve vztahu k přínosu rozšířené reality pro výuku především význam propojení přidaných informací s reálným prvkem z hlediska vizuální názornosti obsahu učiva. V tomto smyslu velmi oceňovala aplikace Helmy, Dýmějový mor a Archimboldo. V otázce naplnění jejích předpokladů a očekávání z hlediska cíle výuky se vyjádřila rovněž pozitivně, i když zmínila jako náročné a částečně problematické z hlediska organizace, koordinace a přípravy expozice Vesnice a Historie Pražského hradu. Sama přiznala, že i možná kvůli těmto faktorům oceňuje hlavně tři dříve zmíněné aplikace. Nicméně rovněž zmínila, že především případy s aplikacemi Historie Pražského hradu a Stěhování národů, které byly první, jež jí napadly jako možné způsoby využití AR, v tomto směru zcela naplnily její představu. Po stránce zpracování aplikací AR, resp. obsahu byla velmi spokojená a

¹⁹² Jednalo se o případ s využitím aplikace Vesnice.

ocenila jak kvalitu zpracování, tak didaktickou názornost obsahu. Dále uvedla, že chápe rozšířenou realitu jako další možnost pro obohacení svého portfolia používaných výukových metod, a to především jako doplněk k vybraným tématům, která mají časový nebo prostorový přesah. Ohledně aplikací Helmy, Dýmějový mor a Vesnice vyučující uvedla, že by bylo vhodné je dále didakticky rozpracovat do složitějších forem. Dále potvrdila zjištění získaná v rámci pozorování, že občasně technické problémy (např. pád aplikace a nutnost nového spuštění či nedokonalost aplikace při rozpoznávání obličeje v obraze) nebyly pro účastníky demotivujícím prvkem, ani příliš nenarušily průběh výuky. Možnost vlastní přípravy materiálů pro rozšířenou realitu vidí jako velmi obtížné, především vzhledem k technické specifičnosti a časové náročnosti.

5 Závěr

Předkládaná disertační práce je pojatá jako teoretická studie podpořená empirickým výzkumem, jejímž hlavním cílem bylo přispět k rozvoji pedagogiky, resp. didaktiky prostřednictvím zkoumání fenoménu rozšířené reality v kontextu didaktických prostředků a technologických vzdělávacích prostředí.

Práce usilovala o vymezení rozšířené reality v oblasti pojmové i obsahové a její snahou bylo především poznat roli rozšířené reality v rámci systému technických výukových prostředků a specifikovat její funkční specifika a možnosti z hlediska didaktiky, resp. didaktiky informační a technické výchovy. Práce přitom vycházela z předpokladu, že rozšířená realita může jako inovativní didaktický prostředek přispět k zefektivnění a zkvalitnění edukačních aktivit a k rozvoji pedagogiky ve smyslu obohacení systému didaktických prostředků a jejich funkcí.

Pro dosažení stanoveného cíle práce C1 byla v rámci teoretické části práce vymezena rozšířená realita jako technologicko-percepční koncept, a to v několika různých kontextech. Rozšířená realita byla podrobena analýze z hlediska své pojmové i obsahové podstaty a z hlediska technologického a funkčního principu. V rámci této analýzy byla AR zkoumána mimo jiné také v kontextu reality, virtuality a virtuální reality, jakožto pojmů a prostředí, z nichž vychází či jsou jí velmi blízké. Ve vztahu k příbuzným technologickým konceptům byla AR vymezena vůči virtuální realitě, smíšené realitě a jejím užším formám či podskupinám. Rozšířenou realitu je možné považovat za formu smíšené reality, která se jednoznačně vyčleňuje vůči ostatním podskupinám (např. vůči virtuální realitě či rozšířené virtualitě) především tím, že při kombinování reálné a virtuální složky primárně vychází z reálné složky či prostředí, a to jak ve smyslu významovém, tak z hlediska funkčnosti. Na základě této analýzy byla definována, resp. redefinována základní kritéria či pravidla, která jsou určující pro systémy rozšířené reality.

Z hlediska své rezultatové povahy může AR nabývat podoby obohaceného, upraveného, doplněného či vylepšeného prostředí oproti primárnímu reálnému prostředí. Tímto vymezením bylo docíleno rovněž sjednocení a uspořádání rozličných termínů označujících rozšířenou realitu, které byly doposud nejednotně používány v odborné literatuře. V oblasti terminologické byla v rámci práce (kapitola 3.1.4) dále vytvořena pojmová struktura rozšířené reality jako technologicko-percepčního konceptu. Rozšířená realita není čistě technologický koncept, proto byl zaveden termín *systém AR*, který označuje v rámci tohoto konceptu právě technologickou část, která společně s *prostředím AR* a *uživatelé AR* tvoří technologicko-percepční koncept. V rámci tohoto konceptu systém AR zajišťuje realizaci výsledného prostředí AR a zabezpečuje jeho percepci uživatelem.

Další dílčí cíle práce se zaměřovaly na analýzu a komparaci systémů AR z hlediska technologických, funkčních a percepčních vlastností (cíle C2 a C3). V tomto kontextu práce stanovila a blíže specifikovala strukturu percepčních a technologických hledisek, která odrážejí významné parametry systémů AR pro dané oblasti a umožňují vytvoření klasifikačního rámce, pomocí kterého je možné popsat (dle předpokladu práce) libovolný systém AR i se zřetelem na budoucí vývoj nových technologických řešení. Struktura hledisek reflektuje vymezení a specifikaci rozšířené reality s ohledem na didaktický význam jednotlivých parametrů.

Stanovení struktury percepčních hledisek a identifikování odlišností ve fungování systémů AR z hlediska percepce vychází hlavně z biofyzikální funkce daných receptorů. Vzhledem k četnosti výskytu systémů a aplikací AR pro jednotlivé percepční oblasti, kde vizuální řešení mají výhradní zastoupení, se práce zaměřila pouze na vizuální oblast. Percepční hlediska charakterizují vlastnosti systému a způsob, jakým systém umožňuje zasáhnout danou percepční oblast uživatele patřičnými podněty. Konkrétně byly stanoveny čtyři hlediska specifikující charakter přidaných grafických dat, dynamičnost obrazu, prostorovost výsledného zobrazení a informaci o barvě výsledné rozšířené reality.

Technologická hlediska odrážejí především princip fungování systému AR, resp. technologický princip vytváření a zprostředkování prostředí rozšířené reality. V tomto kontextu bylo stanoveno hledisko reflektující způsob, jakým je prezentována virtuální a reálná složka AR. Toto hledisko je také jedním z určujících specifíků pro rozlišení systémů na ty, které umožňují tzv. *pravou AR* bez nutnosti technického zařízení pro percepci rozšířené reality ze strany uživatele, a systémy zprostředkovávající *neúplnou AR*, kam spadá většina současných technologických řešení pro rozšířenou realitu. Dalšími technologickými hledisky je povaha řídicí informace, na jejímž základě propojuje virtuální složku s reálnou, počet uživatelů, pro které je systém schopen rozšířenou realitu zprostředkovat, a možná podpora interakce ze strany systému.

Na základě vymezených hledisek a vytvořeného klasifikačního rámce byla jednotlivá možná technologická řešení systémů AR podrobně popsána a vzájemně vymezena. Systémy byly rozděleny do třech základních kategorií (HMD systémy, mobilní zařízení a stacionární systémy), které kromě zmíněných hledisek reflektovaly také mobilitu uživatele, resp. samotného systému AR. Technologická řešení v rámci jednotlivých kategorií byla stanovena také na základě dostupných systémů, resp. technologických principů v současné době dostupných systémů AR. Podrobné charakteristice a vzájemnému vymezení systémů AR z hlediska technologického a percepčního se věnuje kapitola 3.4.

Vedle percepčních a technologických hledisek byla specifikovány výsledková hlediska, která odrážejí především vlastnosti výsledného prostředí a vzájemný vztah virtuální a reálné komponenty

z pohledu uživatele. Jednotlivá hlediska v podobě atributů charakterizujících požadovaný výstup aplikace a systému AR nezávisle na technickém provedení jsou povahy objektivní a subjektivní. Mezi objektivní hlediska, která nezávisí na způsobu vnímání daného prostředí uživatelem, patří poměrné zastoupení virtuální a reálné složky, informační denzita výsledného prostředí AR a povaha rozšířené reality ve smyslu účelu přidání virtuální složky. Subjektivní hlediska jsou pak úzce spjata s pocitem uživatele při vnímání rozšířené reality a patří mezi ně míra realističnosti výsledného prostředí a pocit účasti uživatele v AR.

O dosažení dílčích cílů C4, C5 a C6 se usiluje práce především v kapitole 3.5, ve které jsou stanovena didaktická specifika rozšířené reality, definovány hlavní možné didaktické záměry pro využití AR a vytvořena struktura systémů AR z hlediska organizace výuky. Ve vztahu k didaktickým specifikům a při výběru vhodných technologicko-funkčních řešení rozšířené reality v edukačním procesu je rovněž významné hledisko mobility, které odráží jak možnost použití daného zařízení v různých podmínkách, tak možnost pohybu uživatele v prostředí rozšířené reality. Zejména na základě výsledkových hledisek a stanovených didaktických specifik bylo nastíněno pět hlavních edukačních záměrů, které je možné sledovat při využití rozšířené reality ve vzdělávání. Rozšířenou realitu lze v prvním případě využít k navýšení informační hodnoty vnímaného prostředí skrze zprostředkování doplňujících informací k původnímu reálnému prostředí. Za druhé může být rozšířená realita využita k expozici časově a prostorově nesourodých jevů. V takovém případě zprostředkovává virtuální složka prezentaci informací, které časově či lokačně neodpovídají reálnému prostředí, nicméně s ním souvisejí. Třetím případem může být simulace jevů, dějů a procesů, kde virtuální složka představuje ucelený jev či proces, který by mohl být v mnoha případech použit i samostatně, bez zasazení do kontextu reálného prostředí. Propojení s reálným prostředím však přináší možnost lépe vnímat a posoudit souvislosti prezentovaného učiva. Další dva případy, osvojování a vytváření kompetencí v modelových situacích a řízení činnosti, jsou určeny především pro dovednostně praktické metody, ve kterých rozšířená realita umožňuje nácvik či zlepšuje provádění konkrétních praktických dovedností. Všechny zmíněné edukační záměry, resp. všechny didaktické situace s využitím rozšířené reality se vyznačují společnými hlavními didakticky relevantními charakteristikami, jimiž jsou uzpůsobení míry emočního působení výsledného prostředí AR a korekce kognitivní zátěže, která může být jak navýšena tak snížena v závislosti na zamýšleném záměru.

V rámci vymezení didaktických hledisek rozšířené reality byla provedena restrukturalizace technologických, percepčních a výsledkových hledisek s cílem stanovit strukturu významných aspektů systémů AR ve vztahu k organizaci didaktické situace. Některá v tomto kontextu zásadní hlediska byla rozpracována či transformována, jiná, která měla slabší význam, byla sloučena či se

do nové struktury téměř nepromítla. Výsledkem této restrukturalizace či transformace bylo vytvoření systému organizačních kritérií pro posouzení vhodnosti systémů AR pro konkrétní didaktickou situaci. Do kritéria zamýšlené lokace pro realizaci rozšířené reality se promítá např. a hledisko mobility a z technologického hlediska povaha řídicí informace. Druhé kritérium primárně vychází z technologického hlediska počet uživatelů a částečně se opírá o hledisko interakce. Třetí kritérium (Role žáka v rámci AR) bylo stanoveno především na základě rezultatového hlediska pocit účasti a technologického hlediska konfigurace složek AR, přičemž toto kritérium zohledňuje kromě pozice žáka vůči AR (pozorování či zrcadlení rozšířené reality) také to, zda systém reflektuje polohu a pozici žáka, resp. změnu těchto parametrů. Čtvrté kritérium vychází z hlediska mobility. Poslední kritérium zohledňuje požadavky na kvalitu a parametry prezentace obsahu, přičemž vychází z většiny percepčních hledisek a také reflektuje obecné problémy, které v rámci vytváření rozšířené reality vznikají na úrovni systému AR. Práce předpokládá, že systém těchto kritérií se může stát vodítkem při volbě vhodného technického řešení rozšířené reality pro zamýšlenou didaktickou situaci. Na základě současné relativní dostupnosti technologií a reálné možnosti vzdělávacích institucí si tyto technologie pořídít byly vybrány systémy AR, jejichž vhodnost byla následně evaluována dle stanovených kritérií.

Výsledky teoretické části vyústily v závěr, že rozšířenou realitu je možné považovat za technický výukový prostředek, jehož použití v rámci určitých didaktických situací či záměrů může zkvalitnit výuku. Tyto didaktické záměry byly analyzovány a deskribovány v kontextu didaktických specifik rozšířené reality.

Empirická část práce doplňuje výsledky teoretické části a usiluje o docílení vyšší komplexnosti aplikované výzkumné metodologie v kontextu stanovených cílů práce. Empirická část je reprezentována výzkumným šetřením složeného ze tří samostatných výzkumných projektů, z nichž každý usiloval o naplnění konkrétních cílů práce (C4, C5, C6 a C7). Jednalo se o dvě dotazníková šetření a následný výzkumný projekt v podobě případové studie.

V první etapě empirické části (kapitola 4.1 a 4.2) byla provedena dvě dotazníková šetření. Data získaná z odpovědí u obou dotazníků byla zpracována shodně pomocí metody otevřeného kódování a následné metody vytváření trsů kódů. Cílovou skupinou prvního šetření byli experti z oblasti rozšířené reality a šetření bylo zaměřeno na získání relevantních dat, která v kombinaci s výsledky teoretické části povedou k předložení systému didaktických specifik a parametrů charakterizujících rozšířenou realitu v kontextu didaktických prostředků, především z hlediska technologického a funkčního. Dotazník byl sestaven ze dvou otevřených otázek, z nichž první (E1) se zaměřila na zjištění názorů expertů na předpokládaný technologický a funkční vývoj rozšířené reality a druhá (E2) na zjištění názorů na možnosti využití rozšířené reality ve vzdělávání. Z výsledků odpovědí

vyplýval závěr, že z hlediska technologického se bude rozšířená realita čím dál více uplatňovat s využitím mobilních zařízení a kvalitnějších senzorů parametrů reálného prostředí. Z hlediska edukačního využití rozšířená realita podle expertů poskytne vysoce imerzivní a interaktivní prostředí, které bude působit na žáka více percepčními kanály a v rámci něhož bude moci žák naplňovat aktivní model učení.

Druhé dotazníkové šetření, jehož cílovou skupinou byli pedagogičtí pracovníci z praxe, bylo zaměřeno na aplikační oblast rozšířené reality v edukačním prostředí. Cílem tohoto šetření bylo především získat podněty a inspirace pro aplikační řešení rozšířené reality v oblasti vzdělávání, které byly následně reflektovány při koncepci výzkumného projektu. Podobně jako u šetření mezi experty, byl dotazník sestaven ze dvou otevřených otázek. Z výsledků odpovědí na obě otázky, které byly zaměřeny na obecné možnosti využití rozšířené reality ve vzdělávání (P1) a na získání příkladů konkrétních didaktických situací (P2), vyplynul závěr, že rozšířená realita nabízí motivující a názorné prostředí pro postupné a opakované prezentování výukového obsahu a že rozšířená realita umožňuje zprostředkovat skryté či jinak nedostupné informace, jevy a skutečnosti.

V druhé etapě empirické části práce byl realizován kvalitativně pojatý výzkumný projekt, který přispěl k dosažení cílů práce C4, C5, C6 a C7. Výzkumný projekt měl podobu deskriptivní mnoho případové studie zaměřené zejména na zkoumání vybraných případů nasazení rozšířené reality do výuky v rámci adekvátních výukových celků. Jednotlivé případy byly realizovány podle modelu pro-aktivního akčního výzkumu, který byl zabezpečen vybraným pedagogem a iniciován výzkumníkem. Účastníky studie byli žáci 7. třídy ZŠ a jejich vyučující. V rámci realizační fáze projektu bylo postupně nasazeno celkem šest typově odlišných aplikačních řešení rozšířené reality, která byla koncipována na základě výsledků dotazníkového šetření mezi pedagogy a průběžných podnětů od zúčastněné vyučující. Metody použité pro sběr dat v rámci případové studie byly zúčastněné pozorování, částečně strukturovaný rozhovor s vyučující a preferenční dotazníky administrované žákům po každé výuce s aplikací rozšířené reality.

Z výsledků preferenčních dotazníků vyšlo najevo, že na počátku výzkumu žáci vyjadřovali velmi pozitivní postoj k dalšímu použití rozšířené reality ve výuce, což mohlo být způsobeno fenoménem novosti rozšířené reality ve výuce. V dalším průběhu spíše vítali využití AR ve výuce a vnímali ji jako zajímavou. Zde lze usuzovat na substituci působení faktoru novosti faktorem didaktických specifik, resp. vlastností daného způsobu výuky.

Na základě těchto výsledků, výstupů z pozorování a rozhovoru s vyučující je možné konstatovat, že při použití rozšířené reality ve výuce žáci stále více vnímali výukový význam aktivit s AR a že takto pojatá výuka uspokojivě naplnila zamýšlený didaktický záměr vyučující.

Výsledky jednotlivých částí výzkumného šetření potvrdily prvotní předpoklad, že jak odborníci z oblasti vývoje rozšířené reality, tak pedagogové působící v praxi si uvědomují vysoký význam rozšířené reality pro vzdělávání. Učitelé nalézají řadu didaktických aspektů rozšířené reality i konkrétních didaktických situací, pro něž vidí využití AR jako velmi přínosné. Jako nejvýznamnější didaktické aspekty lze na základě výsledků výzkumného šetření uvést názornost, interaktivitu, prostorovost a podporu učení s aktivní činností žáka. Výsledky výzkumného projektu také ukázaly, že realizaci výuky s rozšířenou realitou mohou výrazně ovlivnit vnější podmínky, zejména u aplikací realizovaných ve venkovním prostředí. Je možné rovněž předpokládat, že ve školním prostředí naleznou využití spíše pro školu finančně dostupnější systémy AR, tedy typicky mobilní zařízení.

Výsledky empirické studie nelze jistě zobecňovat. Výzkumný projekt je třeba chápat spíše jako pilotní projekt, mající charakter případové studie, se závěry platnými pouze v prostředí zkoumané skupiny a s použitím daného zařízení. Zde však bylo potvrzeno, že se současně dostupným technickým zařízením pro školy je možné realizovat širokou škálu aplikačních řešení AR majících efektivní dopad na výuku. Vliv výzkumníka na charakteristiky výzkumné situace byl přitom zmírněn přítomností výzkumníka ve výuce i před samotným zahájením projektu v rámci seznamování se s danými technologiemi. Kompenzace efektu novosti a Hawthornova efektu bylo dosaženo rovněž délkou případové studie. Během této doby se nasazené technologie a přítomnost výzkumníka staly pro zkoumané subjekty v podstatě všední.

Ve smyslu naplnění hlavního cíle specifikovala disertační práce rozšířenou realitu jako technologicko-percepční koncept zahrnující technologické prostředky AR a výsledné prostředí AR. Princip rozšířené reality je výrazně závislý na uživateli, resp. jeho percepci, kterou systémy AR musí reflektovat při realizaci prostředí rozšířené reality. V rámci struktury technických výukových prostředků lze rozšířenou realitu, resp. systémy AR považovat za technické výukové prostředky, které zprostředkovávají žákovi učivo skrze specifické prostředí AR. Toto prostředí má svá didaktická specifika a může nabývat různých podob z hlediska edukačního využití.

Na základě výše uvedené analýzy výsledků práce lze v kontextu cílů práce konstatovat, že rozšířená realita má své specifické místo mezi technologicko-percepčními koncepty, přičemž je jednoznačně určena pomocí základních kritérií, která jsou v práci vymezena. Rozšířená realita se vyznačuje významnými didaktickými vlastnostmi a specifiky, jež jí predikují pro různá využití v typově rozličných didaktických situacích. Výsledky teoretické i empirické části práce pomohly stanovit druhy didaktických záměrů a významné výukové funkce rozšířené reality v roli technického výukového prostředku pro tyto didaktické záměry.

Disertační práce se pokusila o ucelený pohled na fenomén rozšířené reality v kontextu pedagogiky a didaktiky a je možné konstatovat, že z hlediska vytyčených cílů naplnila své poslání. Svým pojetím představuje komplexní studii nahlízející na rozšířenou realitu z různých pohledů a směrů, což umožnilo předložit ucelenou strukturu didakticky významných hledisek a specifik rozšířené reality. V široké problematice rozšířené reality a jejích vazeb k oblasti vzdělávání lze jistě zaznamenat mnohé oblasti či pohledy na zkoumanou problematiku, které by si zasloužily další a podrobnější zkoumání. Rozšířenou realitu je třeba navíc chápat jako rychle se rozvíjející oblast technických výukových prostředků, která vyžaduje toto další hlubší zkoumání z různých pohledů a kontextů pedagogiky, neboť se jedná o oblast s vysokým didaktickým potenciálem, zejména s ohledem na budoucí vývoj na poli technologických prostředků a didaktických přístupů ve vzdělávání.

6 Použitá literatura a prameny

- [1] AUKSTAKALNIS, Steve. *Reálně o virtuální realitě: Umění a věda virtuální reality*. Brno: JOTA, 1994. ISBN 80-85617-41-2.
- [2] AZUMA, Ronald T. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6 [online]. 1997 [cit. 2013-09-03]. Dostupné z: <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>.
- [3] BAJURA, Michael. Merging Virtual Objects with the Real World: Seeing Ultrasound Imagery within the Patient. *Computer Graphics*, 26, 2, červen 1992. [online]. Dostupné z: <http://cs.iupui.edu/~tuceryan/pdf-repository/bajura-siggraph-92.pdf>.
- [4] BAJURA, Michael; NEUMANN, Ulrich. Dynamic Registration Correction in Augmented-Reality Systems. In *IEEE Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS '95)*, 1995. ISBN 0-8186-7084-3/95. [online] Dostupné z: <http://cs.iupui.edu/~tuceryan/pdf-repository/bajura-vrais-95.pdf>.
- [5] BIMBER, Oliver, RASKAR, Ramash. *Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds*. A K Peters, 2005. ISBN 1-56881-230-2.
- [6] BIMBER, Oliver., RASKAR, Ramash. *Modern Approaches to Augmented Reality*. [online]. Mitsubishi Electric Research Laboratories. 2006, 7. Dostupné z: <http://www.merl.com/papers/docs/TR2006-105.pdf>.
- [7] BOTELLA, Christina. Treating Cockroach Phobia With Augmented Reality. *Behavior Therapy*, 41 (3), 2010, s. 401-413.
- [8] BOTTECCHIA, Sébastien. T.A.C: Augmented Reality System for Collaborative Tele-Assistance in the Field of Maintenance through Internet. *Augmented Human Conference*. Srpen, 2010, Megève, Francie.
- [9] BREEN, David E., et al. *Interactive Occlusion and Automatic Object Placement for Augmented Reality*. Dostupné z: <http://www.cs.iupui.edu/~tuceryan/AR/eg96.pdf>.
- [10] BROWN, Dennis G., et al. *Augmented Reality for Urban Skills Training*. Dostupné z: <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA495901>.
- [11] CRAIG, Alan B. *Understanding Augmented Reality: Concepts and Applications*. Newnes, 2013, 296 s. ISBN. 0240824105.
- [12] CRUZ-NEIRA, Carolina, et al. The CAVE: Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment. *Communications of the ACM*, vol. 35(6), 1992. DOI:10.1145/129888.129892. s. 64–72.
- [13] ČÁBELKA, Miroslav. *Úvod do GPS*. Praha: Akademie kosmických technologií, Oblast Galileo, GMES, 2008. 73 str. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/vyuka/gps/skriptum-uvod-do-gps/view>.

- [14] DELEUZE, Gilles. The Actual and the Virtual. *Dialogues II*. Rev. ed. New York and Chichester: Columbia UP. ISBN 0-8264-9077-8. s. 148-152.
- [15] DRASCIC, David, MILGRAM Paul. Perceptual Issues in Augmented Reality. In *SPIE Volume 2653: Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems III*. San Jose, California, Feb. 1996. s. 123-134.
- [16] DUNLEAVY, Matt, et al. Affordances and Limitations of Immersive Participatory Augmented Reality Simulations for Teaching and Learning. In *Journal of Science Education and Technology*. 2009. Volume 18, Issue 1, s 7-22. DOI 10.1007/s10956-008-9119-1. s. 16.
- [17] DUNLEAVY, Matt. DEDE, Chris. Augmented Reality Teaching and Learning. In M.J. Bishop & J. Elen (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*. 4th edition, Volume 2. New York: Macmillan.
- [18] FRANK, Semjon L. *Člověk a realita: Metafyzika lidského bytí*. Olomouc: Refugium Velehrad-Roma s.r.o., 2010. ISBN 978-807412-047-3.
- [19] HAYES, Nicky. *Základy sociální psychologie*. Praha: Portál, 1998. ISBN 80-7178-198-3. Kapitola Měření postojů, s. 112.
- [20] HEIM, Michael. *Virtual Realism*. New York: Oxford University Press, 1998, xiii, 238 s.
- [21] HENDL, Jan. *Kvalitativní výzkum: základní metody a aplikace*. Praha: Portál, 2005. 1. vydání. 408 s. ISBN 80-7367-040-2.
- [22] HENDL, Jan. *Úvod do kvalitativního výzkumu*. Praha: Karolinum, 1997. 243 s. ISBN 80-7184-549-3.
- [23] HOLLOWAY, Richard. *Registration Errors in Augmented Reality*. UNC Chapel Hill Department of Computer Science technical report TR95-016, 1995. [online]. Disertační práce. Dostupné z: <http://cs.iupui.edu/~tuceryan/pdf-repository/holloway-95.pdf>.
- [24] HUGHES, Charles E., et al. Mixed Reality in Education, Entertainment and Training. In *Moving Mixed Reality into the Real World*. IEEE Computer Graphics and Applications, 2005.
- [25] CHAO, Terry. Avegant's Virtual Retinal Display projects 3D onto your eyeballs. *DVICE* [online]. 2013 [cit. 2014-02-10]. Dostupné z: <http://www.dvice.com/2013-10-9/avegants-virtual-retinal-display-projects-3d-your-eyeballs>.
- [26] JOHNSON, Larry, et al. *The 2011 Horizon Report*. Austin, Texas: The New Media Consortium, 2011. ISBN 978-0-9828290-5-9. [online]. Dostupné z: <http://net.educause.edu/ir/library/pdf/HR2011.pdf>.
- [27] KALKOFEN, David, et al. *Comprehensible Visualization for Augmented Reality*. In *IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS*, 2009. ISBN 1077-2626. pp. 193-204. [online] Dostupné z: http://ieeexplore.ieee.org/ieee_pilot/articles/02/ttg2009020193/article.html.
- [28] KAUFMANN, Hannes. *Geometry Education with Augmented Reality*. Wien, 2004. 169 s.

- [29] KAYA, Akile N. *Užití animace v dokumentu: Analýza principů a funkcí animace ve vztahu s dokumentárním filmem*. Praha: Akademie múzických umění, 2012. Dostupné z: <http://cas.famu.cz/files/201210/121025153308.pdf>.
- [30] KENNEDY, G. Promoting Cognition in Multimedia Interactivity Research. In *Journal of Interactive Learning Research*. 2004. s. 43-61.
- [31] KENT, James. *Augmented Reality: Everything You Need to Know About Augmented Reality*. Emereo Pty Limited, 2011, 1196 s. ISBN-13 978-1743040942.
- [32] KLEWENO, Conor P., et al. The virtual retinal display as a low-vision computer interface: Pilot study. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 38(4), 431-442. 2001. Dostupné z: <http://www.hitl.washington.edu/publications//r-2002-10/r-2002-10.pdf>.
- [33] KLOPFER, Eric., SHELDON, Josh. Augmenting your own reality: Student authoring of science-based augmented reality games. *New Directions for Youth Development*, No. 128, 2010, Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company. s. 85-94. DOI: 10.1002/yd.378. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1002/yd.378>.
- [34] KREUGER, Myron W. *Artificial Reality 2*. Addison-Wesley Professional, 1991, 2nd edition, 304 s. ISBN 0201522608.
- [35] LAUREL, Brenda. *Computers as Theatre*. Addison-Wesley Professional, 1993. ISBN 0201550601.
- [36] LÉVY, Pierre. *Kyberkultura: zpráva pro Radu Evropy v rámci projektu "Nové technologie: kulturní spolupráce a komunikace"*. Praha: Karolinum, 2000, 229 s. ISBN 80-246-0109-5.
- [37] LISTER, Martin et al. *New Media: A Critical Introduction*. 2nd ed. London: Routledge, 2009, 446 s. ISBN 0-203-88482-5.
- [38] LOHMANN, Kenneth J., et al. Magnetic maps in animals: nature's GPS. In *The Journal of Experimental Biology* 210. The Company of Biologists: 2007. s. 3697-3705. Dostupné z: <http://jeb.biologists.org/content/210/21/3697>.
- [39] MAŇÁK, Josef; ŠVEC, Vlastimil. *Výukové metody*. Brno: Paido, 2003. ISBN 80-7315-039-5.
- [40] MANN, Steve. Mediated Reality with implementations for everyday life. *Presence 2002: Teleoperators and Virtual Environments*. Dostupné z: <http://wearcam.org/presence-connect/>.
- [41] MANN, Steve. *Mediated Reality*. M.I.T. M.L. Technical Report 260, Cambridge, Massachusetts, 1994.
- [42] MILGRAM, Paul. A taxonomy of mixed reality visual displays. In *IEICE Transactions on Information Systems*, Vol E77-D, No.12, prosinec 1994. [online] Dostupné: http://etclab.mie.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html.
- [43] MILGRAM, Paul. Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In *Telem manipulator and Telepresence Technologies*. SPIE Vol. 2351, 1994, Bellingham. [online] Dostupné z: http://wiki.commres.org/pds/Project_7eNrf2010/_5.pdf.

- [44] MOORE, Michael G. Editorial: Three types of interaction. In *American Journal of Distance Education*. Volume 3, Issue 2, 1989. Dostupné z: http://aris.teluq.quebec.ca/portals/598/t3_moore1989.pdf.
- [45] NAIMARK, Michael. Elements of Realspace Imaging: A Proposed Taxonomy. *SPIE/SPSE Electronic Imaging Proceedings*, vol. 1457, San Jose, 1991. [online] Dostupné z: <http://www.naimark.net/writing/realspace.html>.
- [46] NEZVALOVÁ, Danuše. Akčním výzkumem k zlepšení kvality školy. *e-Pedagogium* (online), 2002, roč. 2, č. 4. [cit. 2013-02-17]. ISSN 1213-7499. Dostupné z: <http://epedagog.upol.cz/eped4.2002/clanek02.htm>.
- [47] NIKL, Jiří. *Technické výukové prostředky*. Hradec Králové : KFy PF UHK, 2002. 61 s. ISBN 80-7083-635-0.
- [48] ORLAND, Kyle. *How fast does “virtual reality” have to be to look like “actual reality”?*. *Ars Technica*, 2013. [online]. Dostupné z: <http://arstechnica.com/gaming/2013/01/how-fast-does-virtual-reality-have-to-be-to-look-like-actual-reality/>.
- [49] OUTWATER, Christopher, HAMERSVELD, Van. *Practical Holography*. [online][citace 28.3.2014]. Dostupné z: <http://www.holo.com/holo//book/book5.html#realv>.
- [50] PALOUŠ, Radim. *Didaktika technických výukových zařízení*. Praha: KPÚ, 1969.
- [51] PEIKOFF, Leonard. *Objektivismus: Filozofie Ayn Randové*. Přerov: Berlet Advertising & Graphic Design Pty Ltd, 2001. ISBN 0 9578399 1 X.
- [52] PRIBENAU, Costin, et al. *D5.1-U1 Usability Evaluation – Summer School 2006*. ARISE, Augmented Reality in School Environment. 2006.
- [53] PROKÝŠEK, Miloš. *Didaktické aspekty využití prostorového zobrazování*. Univerzita Karlova v Praze Pedagogická fakulta, 2012. Disertační práce. Univerzita Karlova v Praze, Pedagogická fakulta, Katedra informačních technologií a technické výchovy.
- [54] RAMBOUSEK, Vladimír, et al. *Technické výukové prostředky*. 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1989. 302 s.
- [55] RASKAR, Remesh, et al. *Shader Lamps: Animating Real Objects With Image-Based Illumination*. Dostupné z: <http://web.media.mit.edu/~raskar/Shaderlamps/shaderlampsRaskar01.pdf>.
- [56] ROUSSOU, Maria. *Immersive Interactive Virtual Reality and Informal Education. Foundation of the Hellenic World* [online]. 2007, 5, [cit. 2011-06-23]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.96.2700&rep=rep1&type=pdf>.
- [57] RYAN, Marie-Laure. *Immersion vs. Interactivity: Virtual Reality and Literary Theory*. 1994. Dostupné z: <http://www.humanities.uci.edu/mposter/syllabi/readings/ryan.html>.
- [58] SALZMANN, Mathieu, et al. *Closed-Form Solution to Non-Rigid 3D Surface Registration*. [online] Dostupné z: http://cvlabwww.epfl.ch/~lepetit/papers/salzmman_eccv08.pdf.
- [59] SEIFF, Abby. First Cell Phone With Built-In Projector. *Popular science* [online]. 2009 [cit. 2014-03-26]. Dostupné z: <http://www.popsci.com/gear-amp-gadgets/article/2009-01/first-cell-phone-built-projector>.

- [60] SCHMALSTIEG, Dieter. WAGNER, Daniel. *Experiences with Handheld Augmented Reality*. Dostupné z: http://www.researchgate.net/publication/4334394_Experiences_with_Handheld_Augmented_Reality/file/79e415108eec85f935.pdf.
- [61] SQUIRE, Kurt D.; MINGFONG, Jan. Mad City Mystery: Developing Scientific Argumentation Skills with a Place-based Augmented Reality Game on Handheld Computers. In *Journal of Science Education and Technology*, Vol. 16, No. 1, February 2007. DOI: 10.1007/s10956-006-9037-z.
- [62] STERNBERG, Robert J. *Kognitivní psychologie: Cognitive psychology*. Z angl. orig. přel. František Koukolík. Praha: Portál, 2002. 632 s. ISBN 80-7178-376-5.
- [63] ŠTIKAR, Jiří. *Obrazová komunikace*. Praha: Karolinum, Univerzita Karlova, 1991. ISSN 0567-8307.
- [64] TAMBORINI, Ron; SKALSKI, Paul. *Playing video games: motives, responses, and consequences*. [s.l.]: Routledge, 2006. The Role of Presence in the Experience of Electronic Games, s. 225-240. ISBN 0805853227. Dostupné z: <http://ocw.metu.edu.tr/file.php/85/ceit706/week6/Tamborini&Skalski.PDF>.
- [65] TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. 4. přepr. a dopl. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2003, s. 559. ISBN 80-247-0512-5.
- [66] TURNER, Stuart. *Coupling Retinal Scanning Displays to the Human Visual System: Visual System Response and Engineering Considerations*. Doctoral Thesis, University of Washington. 2002. Dostupné z: <http://www.hitl.washington.edu/publications//r-2002-66/r-2002-66.pdf>.
- [67] VALLINO, James R. *Interactive Augmented Reality*. University of Rochester. PhD Thesis. [online] Dostupné z: <http://www.se.rit.edu/~jrv/>.
- [68] VIIRRE, Erik, et al. The Virtual Retinal Display: A New Technology for Virtual Reality and Augmented Vision in Medicine. In D. Stredney, S.J. Weghorst *Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality*, 1998. s. 252-257. Dostupné z: <http://www.hitl.washington.edu/publications//r-98-21/r-98-21.pdf>.
- [69] WELSH, Wolfgang. Virtual to begin with? *Subjektivität und Öffentlichkeit: Kulturwissenschaftliche Grundlagenprobleme virtueller Welten*. Ed. By Sandbothe, Mike; Marotzki, Winfried. [online]. Köln: Harlem, 2000. s. 25-60. [cit. 2012-07-09]. Dostupné z: <http://www2.uni-jena.de/welsch/Papers/VirtualTBW.html>.
- [70] WIND, Jürgen. Spinnstube®: a seated augmented reality display system. In *Proceedings of the 13th Eurographics conference on Virtual Environments*. Eurographics Association: Switzerland, 2007. s. 17 - 23. ISBN: 978-3-905674-02-6.
- [71] YACCI, Michael. *Interactivity Demystified: A Structural Definition for Distance Education and Intelligent CBT*. Dostupné z: <http://www.ist.rit.edu/~may/interactiv8.pdf>.
- [72] ZHEN, Bai; BLACKWELL, A.F. See-through window vs. magic mirror: A comparison in supporting visual-motor tasks. In *Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2013 IEEE International Symposium on. 2013. s. 239 - 240. DOI: 10.1109/ISMAR.2013.6671784.

- [73] Avegant's Virtual Retinal Display prototype takes Oculus Rift-style immersion to the next level. *CNET Reviews: Wearable Tech* [online]. 2013 [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: http://reviews.cnet.com/wearable-tech/avegant-virtual-retinal-display/4505-34900_7-35828603.html.
- [74] *Cognitive Load Theory*. University of South Alabama, Online Learning Laboratory.[online][cit. 11-20-2013] Dostupné z: http://www.southalabama.edu/oll/mobile/theory_workbook/cognitive_load_theory.htm.
- [75] Gartner IT Glossary: Augmented reality. *Gartner* [online]. [cit. 2013-08-04]. Dostupné z: <http://www.gartner.com/it-glossary/augmented-reality-ar>.
- [76] *Encyclopædia Britannica*, Inc. Encyclopædia Britannica [online]. 2013 [cit. 2013-10-8]. Dostupné z: <http://www.britannica.com>.
- [77] *Objektivismus: Filozofie Ayn Randové*. [online]. [cit. 2013-02-22]. Dostupné z: <http://www.aynrand.cz/pages/intro2obj.html>.
- [78] *Oxford Advanced Learner's Dictionary*. Oxford: Oxford University Press, 2010. ISBN 978-0-19-479914-0. s. 1221.
- [79] Spinnstube. *Augmented Reality in School Environments*. [online]. Dostupné z: <http://www.arise-project.org/index.php?id=190>.
- [80] Virtuality. [online]. [cit. 2012-09-29]. Dostupné z: <http://csmt.uchicago.edu/glossary2004/virtuality.htm>.
- [81] Virtuální. *ABZ.cz: Slovník cizích slov*. [online]. [cit. 2012-09-25]. Dostupné z: <http://slovník-cizich-slov.abz.cz/web.php/slovo/virtualni>.

7 Seznam obrázků

Obr. 1 - Vymezení VR a jejích podsložek	21
Obr. 2 - Aspekty rozlišující virtualitu od reality v kontextu obrazové informace	23
Obr. 3 - Virtuální kontinuum vymezující smíšenou realitu	24
Obr. 4 - Dimenze rozsahu informací o zobrazovaném prostředí	25
Obr. 5 - Dimenze věrohodnosti reprodukce obrazu	25
Obr. 6 - Dimenze zpřítomnění účastníka smíšené reality	25
Obr. 7 - Schéma vymezující technologicko-percepční koncept rozšířené reality	30
Obr. 8 - Vztah mezi termíny související s významem rozšířené reality.....	31
Obr. 9 - Zastřešující koncept <i>mediated reality</i> pro smíšenou, rozšířenou a virtuální realitu	32
Obr. 10 - Způsoby konstrukce virtuální složky a rekonstrukce reálné složky	38
Obr. 11 - Schéma naznačující interakci mezi uživatelem a systémem AR	42
Obr. 12 - Příklad uživatele v roli účastníka rozšířené reality a v roli pozorovatele.....	46
Obr. 13 - Příklad rozšířené reality s pasivní účastí uživatele	47
Obr. 14 - Binokulární video HMD a monokulární optický HMD	50
Obr. 15 - Použití soustavy zrcadel pro usměrnění optického signálu	51
Obr. 16 - Princip VRD systému	53
Obr. 17 - Prototyp video VRD s prostorovým zobrazením.....	53
Obr. 18 - Princip optického HMD systému AR	54
Obr. 19 - Ukázka dynamické chyby v registraci	55
Obr. 20 - Binokulární optický HMD systém - STAR 1200XLD	55
Obr. 21 - Princip video HMD systému AR	56
Obr. 22 - Binokulární video HMD systém - Wrap 1200DXAR.....	56
Obr. 23 - Princip mobilních systémů AR s náznakem redukce FOV	58
Obr. 24 - Znázornění magnetického pole uvnitř budovy	59
Obr. 25 - Příklad použití mikro projektoru zabudovaného v mobilním telefonu.....	60
Obr. 26 - Využití PDA pro rozšířenou realitu.....	62
Obr. 27 - Princip stacionárního video systému	63
Obr. 28 - Systém Spinnstube.....	65
Obr. 29 - Ukázka použití technologie TransScreen.....	66
Obr. 30 - Ukázka reálného modelu a modelu s nasvícenou texturou.....	67
Obr. 31 - Projekce na reálný objekt.....	67
Obr. 32 - Princip Augmented Reality Sandbox a ukázka interakce s tímto zařízením	68
Obr. 33 - Artefakt s řídicí informací jako učební pomůcka	78





Obr. 34 - Struktura metod výzkumného šetření	91
Obr. 35 - Schéma znázorňující organizaci případů v rámci případové studie	106
Obr. 36 - Ukázky aplikace rozšířené reality Helmy.....	107
Obr. 37 - Ukázky aplikace rozšířené reality Archimboldo.....	109
Obr. 38 - Ukázka aplikace Historie Pražského hradu	110
Obr. 39 - Průměrné hodnocení otázky Ot1	111
Obr. 40 - Průměrné hodnocení otázky Ot2	111
Obr. 41 - Průměrné hodnocení otázky Ot3	112
Obr. 42 - Průměrné hodnocení otázky Ot4	112
Obr. 43 - Průměrné hodnoty odpovědí na jednotlivé otázky	113

8 Seznam tabulek

Tab. 1 - Klasifikace technologických konceptů rozšířené reality	49
Tab. 2 - Naplnění organizačních kritérií ze strany vybraných systémů AR.....	90
Tab. 3 - Mapování číselných intervalů na hodnotící škály v preferenčním dotazníku	105

9 Přílohy práce

Příloha A Webový formulář pro dotazníkové šetření mezi experty



Research Survey on the Theme

Possibilities of the Exploitation of Augmented Reality in Education

In what direction do you think augmented reality will continue to develop from the technological and functional point of view?

What do you see as the potential (methods, possibilities, examples) for the use of augmented reality in the field of education?

Send

If you have any question or some problems have occurred, please contact me by e-mail or by telephone at the number +420 224 123 456

© Mgr. Tomáš Jeřábek, Praha UK PedF KITTIV, 2012

Příloha B E-mail účastníkům dotazníkového šetření mezi experty

Dear Mr. Novak,

Since you are a distinguished expert in the field of information and communication technologies I am writing to ask you for a short statement of your views.

I am a PhD student and scientific worker at the Department of Information Technologies of the Faculty of Education at Charles University in Prague. My research is concerned with augmented reality and its exploitation in education. As part of this research I am conducting a survey of the views of experts on the current and future importance of augmented reality in the ICT field and its potential for applications in the field of education.

I would very much appreciate it if you could give me your opinion on the theme of augmented reality in the form of answers to the following two questions. If you prefer to use the Web interface, you can formulate your answers at the address:

<http://kraken.pedf.cuni.cz/vyzkum-ar/respondexp.php?skey=XXXXXXXXX&lng=en>

- 1. In what direction do you think augmented reality will continue to develop from the technological and functional point of view?**
- 2. What do you see as the potential (methods, possibilities, examples) for the use of augmented reality in the field of education?**

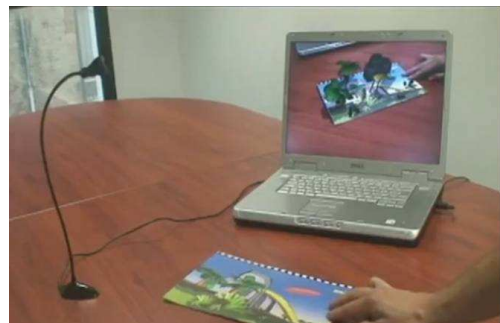
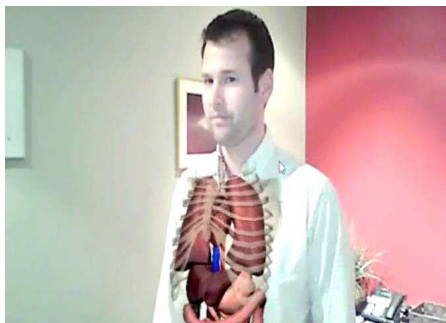
Thank you for your cooperation.

Best regards

Mgr. Tomáš Jeřábek

Příloha C Ukázka rozšířené reality pro účastníky dotazníkového šetření mezi pedagogy

Pozn.: Celé video je součástí elektronických příloh



Příloha D Webový formulář pro dotazníkové šetření mezi experty



Výzkumné šetření na téma

Možnosti využití rozšířené reality ve vzdělávání

Jaké spatřujete obecné možnosti využití rozšířené reality ve vzdělávání?

Jaké konkrétní příklady využití rozšířené reality ve vzdělávání Vás napadají?
Uvedte, prosím, konkrétní didaktické situace.

Odeslat

V případě jakýchkoliv komplikací či dotazů mě kontaktujte, prosím, [e-mailem](#) nebo telefonicky na čísle 224 000 000

© Mgr. Tomáš Jeřábek, Praha UK PedF KITTY, 2012

Příloha E E-mail účastníkům dotazníkového šetření mezi pedagogy

Vážená paní kolegyně,

obracím se na Vás s prosbou o stručné vyjádření.

Jsem student doktorského studia a vědecký pracovník na katedře informačních technologií a technické výchovy Pedagogické fakulty Univerzity Karlovy v Praze a věnuji se ve své práci rozšířené (augmented) realitě a jejímu využití ve vzdělávání. V rámci této práce provádím výzkumné šetření, které se týká názoru pedagogů na současný a budoucí význam rozšířené reality pro oblast vzdělávání.

Dovolte mi Vás tímto požádat o Váš názor na problematiku využití rozšířené reality ve formě odpovědí na následující dva dotazy (níže v textu). V případě, že je Vám příjemnější prostředí webového rozhraní, můžete své odpovědi formulovat na adrese

<http://kraken.pdf.cuni.cz/vyzkum-ar/respondped.php?skey=150617745627>

Video s ukázkami rozšířené reality: <http://youtu.be/yQUE6ub1oBM>

1. Jaké spatřujete obecné možnosti využití rozšířené reality ve vzdělávání?

2. Jaké konkrétní příklady využití rozšířené reality ve vzdělávání Vás napadají? Uveďte, prosím, konkrétní didaktické situace.

Předem děkuji za Vaše vyjádření.

Mgr. Tomáš Jeřábek

Datum, čas:

Počet žáků:

Předmět, téma, aplikace AR:

Délka trvání práce s aplikací AR:

Čas	Ovládání a manipulace se systémem AR	Pochopení aplikace AR	Forma a míra spolupráce / vzájemné sdílení	Zájem o opakované použití	Časová ztráta spojená s přípravou
5					
10					
15					
17					
20					
22					
25					
31					
35					
40					
45					

Příloha G Preferenční dotazník

Preferenční dotazník

Datum:

Setkání:

1. Jak pro tebe byla práce s rozšířenou realitou složitá?

Velmi jednoduchá Jednoduchá Normální Složitá Velmi složitá

2. Jaké pro tebe bylo použití rozšířené reality?

Velmi zajímavé Zajímavé Normální Nudné Velmi nudné

3. Co si myslíš o dnešní části hodiny s rozšířenou realitou? Bylo to spíš učení nebo hra?

Určitě učení Spíš učení Nevím Spíš hra Určitě hra

4. Chceš příště použít ve výuce znovu rozšířenou realitu?

Určitě ano Spíš ano Nevím Spíš ne Určitě ne