

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program:	N2301	Strojní inženýrství
Studijní obor:	2302T007	Průmyslové inženýrství a management

Diplomová práce

Využití možností vzdálené asistence v rozšířené realitě

Autor: **Tomáš Thürl**
Vedoucí práce: **Ing. Petr Hořejší, Ph.D.**

Akademický rok 2018/2019

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Velice bych chtěl poděkovat vedoucímu mé práce doktoru inženýrovi Petru Hořejšímu, který mou diplomovou práci dovedl do zdárného konce. A to nejen věcnými radami, ale také velkou trpělivostí a pochopením.

Dále bych chtěl poděkovat rodině. Rodičům za jejich psychickou podporu a zázemí při studiích, babičce za neutuchající radost z mých studijních úspěchů a podpoře v dobách neúspěchu. Dědečkovi za ukázkou toho, že ani v těžkých chvílích se nemám přestávat snažit. Přítelkyni za velkou podporu a motivaci k dokončení této práce pod výhružkou nakopání mé regio glutealis.

V neposlední řadě patří dík všem mým kolegům z Fakulty strojní za to, že jsem v tom byli společně. Bylo mi ctí s vámi studovat a přeji vám hodně úspěchů v další životní etapě.

STUDIUM JE VÝSADA A JÁ DĚKUJI VŠEM, KTERÍ MI JEJ UMOŽNILI.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Thürl	Tomáš
STUDIJNÍ OBOR	N2301 „Průmyslové inženýrství a management“	
VEDOUCÍ PRÁCE	Ing. Hořejší, Ph.D.	Petr
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KPV	
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ
NÁZEV PRÁCE	Využití možností vzdálené asistence v rozšířené realitě	

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM		TEXTOVÁ ČÁST		GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	--	---------------------	--	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS	Diplomová práce se zabývá vzdálenou asistencí v rozšířené realitě s využitím Microsoft Hololens a její implementací do průmyslového podniku.
KLÍČOVÁ SLOVA	Rozšířená realita, vzdálená asistence v rozšířené realitě, Microsoft Hololens, technicko-ekonomická analýza

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Thürl	Tomáš
FIELD OF STUDY	N2301 „Industrial Engineering and Management“	
SUPERVISOR	Ing. Hořejší, Ph.D.	Petr
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR
TITLE OF THE WORK	Possibilities of Augmented Reality Remote Assistance	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2019
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY		TEXT PART		GRAPHICAL PART	0
----------------	--	------------------	--	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION	This diploma thesis contains a study of remote assistance and augmented reality. It describes possibilities of combining remote assistance in augmented reality and proves the concept in practice.
KEY WORDS	Augmented reality, remote assistance in augmented reality, Microsoft Hololens

Obsah

1. Úvod.....	11
2. Současné metody řešení technických závad a druhy vzdálené asistence	12
2.1.1. Zasilatelský způsob	12
2.1.2. Oprava externím specialistou.....	12
2.1.3. Oprava servisním technikem dle manuálu	13
2.1.4. Oprava servisním technikem se vzdálenou asistencí specialisty	13
2.1.5. Shrnutí výhod a nevýhod jednotlivých způsobů opravy.....	13
2.2. Popis současných způsobů vzdálené asistence	14
2.2.1. Asistence po telefonu.....	15
2.2.2. Asistence emailem	15
2.2.3. Asistence s využitím vzdálené plochy	15
2.2.4. Asistence videohovorem.....	15
2.2.5. Asistence s využitím rozšířené reality	15
2.2.6. Shrnutí jednotlivých způsobů vzdálené asistence.....	16
3. Rozšířená realita a její využití na pracovištích	18
3.1. Obecný popis rozšířené reality.....	18
3.2. Definice rozšířené reality	18
3.3. Využití rozšířené reality.....	19
3.3.1. Komerční využití rozšířené reality.....	19
3.3.2. Informační využití rozšířené reality.....	19
3.3.3. Průmyslové využití rozšířené reality	19
3.4. Historie rozšířené reality.....	19
3.5. Výhody rozšířené reality na pracovištích	20
3.5.1. Zpřehlednění pracovních operací.....	20
3.5.2. Zkrácení času operací	21
3.5.3. Snížení chybovosti operací	22
3.5.4. Využití rozšířené reality ke školení	23
3.5.5. Využití rozšířené reality ke spolupráci	23
4. Využití rozšířené reality k asistenci.....	24
4.1. Možnosti uplatnění.....	24
4.1.1. Letecký průmysl.....	24
4.1.2. Správa, údržba a stavba nemovitostí.....	25
4.1.3. Automobilový, železniční a lodní průmysl.....	26
4.1.4. Vojenství.....	26
4.1.5. Jaderný průmysl.....	27
4.2. Hardware využívaný k AR asistenci.....	27
4.2.1. Náhlavní displeje (HMDs).....	28
4.2.2. Hand-held zařízení	29
4.2.3. Monitory	30

4.2.4. Projektory.....	30
5. Dělení systémů využívajících rozšířenou realitu k asistenci	31
5.1. Self-guided systémy	31
5.2. Expert-driven systémy	31
6. Tvorba rozšířené reality	33
6.1. Předem připravené self-guided systémy AR asistence	33
6.2. Automaticky generované self-guided systémy AR asistence	33
6.3. Expert-driven systémy AR asistence	33
6.4. Generické systémy	34
6.5. Modelově založené systémy	34
7. Návrh řešení vzdálené asistence pomocí rozšířené reality ve vybraném podniku.....	34
7.1. Popis podniku.....	34
7.2. Popis problému	34
7.3. Návrh řešení problému za pomoci vzdálené asistence v rozšířené realitě.....	35
7.3.1. Výběr vhodného hardwaru.....	35
8. Studie proveditelnosti	36
8.1.1. Definování požadavků pro provoz AR asistence.....	36
8.1.2. Testování navrženého řešení v prostorách podniku.....	37
8.2. Ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení.....	38
8.2.1. Vynaložené finanční prostředky na opravy v r. 2018	38
8.2.2. Roční náklady spojené s provozem Microsoft Hololens	40
8.2.3. Výpočty doby trvání fiktivních oprav z roku 2018 při využití vzdálené asistence v rozšířené realitě.....	41
8.2.4. Výpočet nákladů na jednu hodinu provozu zařízení Microsoft Hololens.....	42
8.2.5. Porovnání nákladů na opravu provedenou externím servisním technikem s fiktivní opravou pomocí vzdálené asistence v rozšířené realitě při jejím plném využití	43
8.2.6. Porovnání nákladů na opravu provedenou externím servisním technikem s fiktivní opravou pomocí vzdálené asistence v rozšířené realitě při jejím částečném využití.....	47
8.2.7. Výpočet návratnosti investice do zařízení Microsoft Hololens a zavedení vzdálené asistence v rozšířené realitě	50
9. Závěr	53
10. Citovaná literatura.....	54

Použité zkratky

- AR – Augmented Reality, anglický název rozšířené reality
- HMD – Head Mounted Displej, odborný anglický název pro brýle pro virtuální a rozšířenou realitu
- NASA – Anglická zkratka pro americký Národní úřad pro letectví a kosmonautiku
- GPS – Global Positioning System, zkratka pro radionavigační systém určování polohy
- CAD – Computer-aided design, neboli počítačem podporované projektování
- LHR – Mezinárodní zkratka pro letiště London Heatrow
- PRG – Mezinárodní zkratka pro letiště pro letiště Václava Havla
- KT – Zkratka názvu města Klatov
- PJ – Zkrácené označení Peněžní Jednotky
- 3D – 3D je zkratka pojmu trojdimenzionální

1. Úvod

Údržba a opravy strojů či zařízení je důležitou součástí moderního světa. Vyskytuje se ve všech průmyslových odvětvích, ve službách a nebo například ve státní správě. S příchodem počítačů, internetu a rychlým průmyslovým rozvojem zaznamenal sektor údržby a oprav obrovský vzestup, což mělo za následek ale i růst nákladů na opravy a údržbu. Například v roce 2008 se v leteckém průmyslu zvýšily náklady na údržbu a opravy o více než 54 miliard amerických dolarů. [1] Tyto vysoké výdaje na údržbu a opravy se netýkají pouze soukromých subjektů. Kupříkladu americká armáda alokovala v roce 2016 na opravu a údržbu jejího vybavení téměř 200 miliard amerických dolarů, což byla v tomto roce necelá polovina celého rozpočtu americké obrany. [1] Obecně platí, že náklady spojené s opravami a údržbou strojů a zařízení tvoří 60-70 % celkových provozních nákladů daného stroje či zařízení v průběhu jeho životního cyklu. Nemalý podíl na těchto nákladech má špatná a nebo žádná optimalizace servisních úkonů. Je proto důležité, aby byla právě servisním úkonům věnována dostatečná pozornost, protože při vysokých výdajích, které jsou s nimi spojené, vede každé zlepšení procesu oprav a údržby ke snížení nákladů na provoz a také zkracuje dobu odstávky. [1], [2]

Právě kvůli snížení nákladů na provoz a zkrácení doby odstávky jednotlivých zařízení je nutné, aby byli technici vykonávající servisní úkony co nejlépe proškoleni a nebo měli dostatek podpůrných materiálů, díky kterým jsou schopni zvládnout pracovní úkoly v krátkém čase a hlavně v požadované kvalitě. Vzhledem k plošnému nedostatku pracovníků a širokému spektru využívaných strojů a zařízení se firmy kloní spíše k nasazení běžných servisních techniků vybavených servisními manuály a návody. Ne vždy jsou ale návody zpracovány tak, aby popisovali servisní postupy k veškerým možným poruchám a zároveň byly zcela srozumitelné. Je proto důležité, aby mohli technici vykonávající a opravy využívat technickou podporu od výrobce daného stroje či zařízení. [1], [2]

Technická podpora výrobce nebo pozáručního servisu využívá ke zprostředkování podpory různých druhů vzdálené asistence. Mezi tyto druhy vzdálené asistence se nově řadí asistence za pomoci rozšířené reality, která bude dále popisována v této práci.

2. Současné metody řešení technických závad a druhy vzdálené asistence

Rešerše současných metod řešení technických závad a druhů vzdálené asistence je důležitým základním stavebním kamenem této práce. Bylo tedy nutno vytvořit následující srovnání metod řešení závad a následně současných způsobů vzdálené asistence.

Jak již bylo popsáno v úvodu této práce, moderní doba s sebou přináší složité stroje a zařízení, která vyžadují odborný servis a údržbu. K eliminaci této skutečnosti se průmyslové podniky snaží dojít zaváděním preventivní údržby, nicméně preventivní údržba stále nedokáže odstranit veškeré příčiny technických problémů. Je proto tedy nutné hledat i moderní postupy odstraňování technických závad. Popis současných způsobů řešení technických závad

V dnešní době se k opravám a údržbě průmyslových strojů a zařízení využívají čtyři hlavní způsoby:

- Zasilatelský způsob opravy
- Oprava externím specializovaným technikem
- Oprava servisním technikem dle manuálu
- Oprava servisním technikem se vzdálenou asistencí specialisty

2.1.1. Zasilatelský způsob

Prvním způsobem je odeslání do autorizovaného servisního střediska. Zasilatelský způsob je hojně využíván u rozměrově menších strojů a zařízení, které mohou být přepravovány bez větších obtíží. Tato metoda oprav je efektivní, nicméně je spojena s dalšími náklady a s časem potřebným k přepravě. Další nevýhodou této metody opravy je riziko výrazného prodloužení času opravy z důvodu velkého vytížení autorizovaného servisu. Častým úskalím této metody je mnohdy nedostatečná komunikace mezi servisním střediskem a zákazníkem, což může vést k nedostatečným opravám, které výrazně prodlužují dobu odstávky strojů a zařízení. [1]

2.1.2. Oprava externím specialistou

Druhým způsobem je povolání specialisty přímo do provozu, kde nastal problém vyžadující řešení. Využití specialisty k on-site¹ opravě či údržbě zařízení s sebou přináší značné výhody. Oprava bývá vyřízena rychle, ve srovnání s opravou neodborným technikem je ve vyšší kvalitě a zadavatel opravy má možnost přímé konzultace s odborníkem. Nicméně tato forma opravy má také svá úskalí. Může se stát, že technik není ihned k dispozici, což prodlužuje dobu odstávky. Pokud se technik musí do místa problému přesouvat z větší vzdálenosti, vzrůstá opět čas potřebný k opravě a také náklady na samotnou dopravu. Další problémy mohou nastat v případě nedostatečného či špatného popisu závady před příjezdem technika. V tomto případě hrozí, že technik nebude moci závadu plně odstranit z důvodu chybějících náhradních dílů ihned a bude muset svůj výjezd opakovat. Opakovaný servisní výjezd opět zvyšuje náklady na opravu a prodlužuje dobu odstávky. [1]

¹ Oprava prováděná přímo v závodě, kde se výrobní stroj či zařízení nachází

2.1.3. Oprava servisním technikem dle manuálu

Třetí metodou využívanou pro opravy a údržbu, je nasazení vlastního, základně proškoleného servisního technika, který je vybaven servisním manuálem a nebo dalším podpůrným materiálem, který může být interní a nebo byl poskytnut přímo výrobcem – například video zobrazujícím servisní postup. Tento personál bývá snadněji dostupný, nicméně tvorba podpůrných materiálů je časově náročná a tyto materiály se s rychle přicházejícími modifikacemi zařízení stávají zastaralými, což práci technika znesnadňuje. Důležitá je také jednoznačnost těchto manuálů. Postup v nich musí být uveden jasně a srozumitelně. V případě, že tomu tak není, může dojít ke špatnému pochopení instrukcí, což má za následek chyby v práci technika. Chybovost způsobená špatným pochopením manuálu byla zkoumána v roce 2010 při servisních pracích v leteckém průmyslu a bylo zjištěno, že přes 60 % chyb při údržbě letadel bylo způsobeno právě špatným pochopením servisního manuálu. [1], [2], [3]

Zároveň bylo zjištěno, že i v takto sledovaném oboru obsahují tyto manuály pouze limitované množství servisních úkonů a také nedostatečně definují některé pojmy, což výrazně zvyšuje procento chybovosti práce techniků. Právě v rámci zkoumání chybovosti leteckých techniků bylo odhaleno, že k odstranění chyb způsobených nepřesnými servisními manuály nestačí pouze tyto materiály zdokonalit a odstranit v nich jednotlivé chyby. Je také důležité poskytnout technikům možnost bezprostřední konzultace s odborníky. [1], [2], [3]

2.1.4. Oprava servisním technikem se vzdálenou asistencí specialisty

Čtvrtým postupem využívaným k opravám a údržbě je vzdálená asistence externího specialisty technikovi, který vykonává daný servisní úkon přímo v průmyslovém závodě. Tato vzdálená asistence probíhá po telefonu, emailem, za pomoci vzdálené plochy a nebo pomocí videohovorů a externí specialista tak internímu technikovi předává informace a know-how nutné k vyřešení daného problému. V případě asistence po telefonu, za pomoci vzdálené plochy a nebo videohovorem se tak děje v reálném čase. Při využití vzdálené asistence specialistou jsou technické závady snadněji a rychleji identifikovány. V naprosté většině je také možno tyto závady i rychleji odstranit. [1], [2], [3]

Kromě již zmiňovaných čtyřech základních způsobů vzdálené asistence je stále více využívána i její nová forma, kterou je vzdálená asistence v rozšířené realitě. Tato forma vzdálené asistence bude více popsána v dalších kapitolách této práce. [1], [2], [3]

Každý z těchto způsobů je, díky svým omezením, vhodný jen pro určité problémy a detailněji jsou popsány v další kapitole. [1], [2], [3]

Jak již bylo řečeno, oprava servisním technikem se vzdálenou asistencí odborníka výrazně přispívá ke snížení chybovosti servisních úkonů a to právě díky možnostem přímé konzultace v okamžiku vykonávání servisního úkonu. [1], [2], [3]

2.1.5. Shrnutí výhod a nevýhod jednotlivých způsobů opravy

K výše popsaným způsobům řešení technických závad se pojí následující tabulka, která reflektuje výhody a nevýhody jednotlivých metod řešení komplexních oprav.

Jako kritéria pro srovnávání způsobů řešení technických závad byly zvoleny následující atributy:

- Nízká cena

- Krátká reakční doba
- Dostupnost
- Efektivita opravy

Tyto atributy byly vybrány s ohledem na obecné známé nároky na opravy – nízkou cenu a krátkou dobu opravy.

Metody řešení technických závad				
Způsoby řešení technických závad	Atributy řešení technických závad			
	Nízká cena opravy	Krátká reakční doba opravy	Rychlá dostupnost opravy	Vysoká účinnost opravy
Autorizovaný servis	—	—	×	×
Externí specialista	—	—	—	×
Servisní technik	×	×	×	—
Servisní technik s podporou specialisty	×	×	×	×

Tabulka 1 – Srovnání metod servisních úkonů pro řešení problémů

Legenda tabulky: × - atribut je splněn; – - atribut není splněn; # - atribut je splněn jen částečně;

Z tabulky je patrné, že optimálním řešením technické opravy je oprava interním servisním technikem, který je podporován pomocí vzdálené asistence specializovaným technikem. Možné způsoby vzdálené asistence jsou popsány v následující kapitole této práce.

2.2. Popis současných způsobů vzdálené asistence

Řešení problémů pomocí vzdálené asistence je v současné době hojně využíváno. Jak bylo již zmíněno v kapitole 2.1.4 této práce, vzdálená asistence může být poskytována různými způsoby. Při poskytování vzdálené asistence je nutno dodržet jednu důležitou podmínku – vzdálená asistence by měla být poskytována odborníkem na konkrétní tematiku nebo konkrétní problém. Jen při dodržení této podmínky je možno zajistit její vysokou efektivitu. Někdy je asistence využívána také pro neodbornou konzultaci v rámci podniku, nicméně tato práce se bude nadále zabývat pouze vzdálenou asistencí poskytovanou odborníky.

V současné době jsou využívány čtyři hlavní formy vzdálené asistence:

- Asistence po telefonu
- Asistence emailem
- Asistence využitím vzdálené plochy
- Asistence videohovorem

Kombinací těchto čtyř hlavních způsobů byl vytvořen nový, pátý způsob asistence:

- Asistence s využitím rozšířené reality

Všechny tyto způsoby jsou detailně popsány níže:

2.2.1. Asistence po telefonu

Asistence po telefonu je jednoduchou a rychlou formou vzdálené asistence. Tato metoda vzdálené asistence se hodí pro problémy s nutností okamžitého řešení a přímé konzultace servisního postupu se specialistou. Zároveň se ale touto cestou problémy hůře popisují a není možné přímé sdílení souborů v rámci asistenčního hovoru, bývá tedy nezbytné tuto metodu kombinovat s dalšími níže popsány metodami. Velkou výhodou asistence po telefonu bývá její bezprostřednost a široký rozsah možných aplikací. Mezi nevýhody patří již zmiňované ztížení popisu problému, nemožnost sdílení dokumentů a přímé ukázky řešeného problému.

2.2.2. Asistence emailem

Vzdálená asistence emailem často navazuje na telefonní asistenci zmiňovanou v předchozím odstavci. Podpora za pomoci emailu je efektivním způsobem řešení problému díky možnosti sdílení souborů v rámci komunikace. Sdílené soubory mohou pomoci s přesnou identifikací problému a zároveň dokáží uživateli ukázat přesný postup řešení problému. Bohužel tento způsob může být pomalejším z důvodu čekání na reakci specialisty. Velkým benefitem je však široké spektrum možného využití. V dnešní době se jedná o nejvyužívanější formu vzdálené asistence.

2.2.3. Asistence s využitím vzdálené plochy

Dalším způsobem vzdálené asistence je využití vzdálené plochy. Vzdálená plocha je způsob řešení problémů v počítačovém odvětví, kdy uživatel, který narazí na problém, umožní servisní podpoře přístup k ovládání svého počítače právě za pomoci vzdálené plochy. Jedná se o způsob, který obvykle vede k rychlému řešení, protože je problém řešen přímo specialistou. K této formě vzdálené asistence se využívá speciálních softwarů, které vytvoří internetový tunel, skrze který je sdílena klientova obrazovka a specialista vzdáleně ovládá klientův počítač. Tento způsob asistence bývá často kombinován nejčastěji s telefonní asistencí, které je realizována buď přímo, jako například v asistenční části softwaru Skype for Business a nebo nepřímo za pomoci běžného telefonu při využití asistenčního softwaru TeamViewer.

2.2.4. Asistence videohovorem

Posledním standardně využívaným způsobem je asistence za pomoci videohovoru. Hlavní výhodou této asistence je možnost okamžité ukázky problému pomocí videa. Díky tomu má specialista okamžitý a nezprostředkovaný vhled do situace, což umožňuje snadněji identifikovat příčinu problému. Specialista je také schopen kontrolovat postup technika a plynule mu sdělovat nadcházející kroky postupu nápravy problému. Nevýhodou videohovorů je nutnost exaktního popisu úkolů specialistou, což může být v méně přehledných, či komplikovaných zařízeních problém. [1]

2.2.5. Asistence s využitím rozšířené reality

V poslední době se k těmto čtyřem standardním způsobům vzdálené asistence přidává ještě pátý, který využívá možností rychle rozvíjející se rozšířené reality. Rozšířená reality, označována zkratkou AR, je technologie která obohacuje realitu a její skutečné objekty počítačově generovanou grafikou. Viz obrázek č. 1. Toto rozšíření se ukázalo jako velice

přínosné právě v oboru vzdálené asistence, kdy se ke zobrazování dat rozšířené reality využívá mobilních telefonů, tabletů vybavených kamerou a náhlavních průhledných displejů.



Obrázek 1 – Ukázka rozšířené reality [4]

V rámci podrobné studie rozšířené reality bylo zjištěno, že lidské kognitivní schopnosti mohou být díky přidávání vhodných digitálních informací v reálném čase výrazně zlepšeny. Tato studie zároveň zjistila, že při využití asistenci v rozšířené realitě se sníží čas potřebný k určení postupu při odstraňování závady v průměru o 55 %. Zároveň bylo zjištěno, že při zobrazení step-by-step² návodu v rozšířené realitě, dojde ke snížení počtu chyb učiněných v pracovním postupu oproti běžným papírovým návodům o téměř 85 %. [3],[5]

2.2.6. Shrnutí jednotlivých způsobů vzdálené asistence

Řešení technický problémů pomocí vzdálené asistence je dnes na denním pořádku a volba vhodného způsobu vzdálené asistence nebývá nijak složitá. Nicméně pro účely této práce byla vytvořena srovnávací tabulka, které porovnává běžné způsoby vzdálené asistence s nově vzniklou asistencí v rozšířené realitě.

Jako komparační kritéria pro tuto srovnávací tabulku jednotlivých způsobů vzdálené asistence byly zvoleny tyto atributy:

- Okamžitá reakce v rámci daného způsobu vzdálené asistence
- Možnost sdílení souborů v rámci daného způsobu vzdálené asistence
- Široký rozsah použití daného způsobu vzdálené asistence
- Možnost okamžité ukázky problému v rámci daného způsobu vzdálené asistence

² Návod zobrazovaný krok za krokem

Komparace jednotlivých způsobů vzdálené asistence				
Způsoby vzdálené asistence	Atributy vzdálené asistence			
	Okamžitá reakce	Možnost sdílení souborů	Široký rozsah použití	Možnost okamžité ukázky problému
Telefon	×	—	×	—
Email	—	×	×	—
Vzdálená plocha	—	×	—	×
Videohovor	#	—	×	×
Rozšířená realita	×	×	×	×

Tabulka 2 - Srovnání standardních druhů vzdálené podpory

Legenda tabulky: × - atribut je splněn; — - atribut není splněn; # - atribut je splněn jen částečně;

Po nahlédnutí do komparační tabulky je zřejmé, že vzdálená asistence pomocí rozšířené reality je v současné době nejlepším možným způsobem poskytování vzdálené asistence. Při využití rozšířené reality ke vzdálené asistenci je nejen možné splnit veškerá stanovená kritéria pro vzdálenou asistenci, ale také mnohonásobně zvýšit její efektivitu.

3. Rozšířená realita a její využití na pracovištích

3.1. Obecný popis rozšířené reality

Rozšířená realita, často označována anglickým výrazem Augmented Reality a nebo zkratkou AR, je technologie, která rozšiřuje námi vnímaný fyzický svět o počítačem generované informace. Rozšířená realita tedy, na rozdíl od virtuální reality, nevytváří celé virtuální prostředí, ale pouze do reálného prostředí přidává digitální artefakty. Tyto počítačové artefakty jsou reprezentovány informacemi, které mohou mít odlišnou podobu – od textu až po složité 3D objekty či animace.



Obrázek 2 - Ukázka rozšíření reality [5]

3.2. Definice rozšířené reality

Rozšířená realita je definována jako přímé nebo nepřímé zobrazení reálného světa, které bylo rozšířeno o počítačově generované informace. Rozšířená realita kombinuje reálné a virtuální objekty a tvoří spolu s rozšířenou virtualitou přechod mezi reálným a virtuálním prostředím. [6]



Obrázek 3 - Přechod mezi reálným prostředím a virtuální realitou [6]

3.3. Využití rozšířené reality

Využití rozšířené reality může být rozděleno na tři hlavní způsoby:

- Komerční využití rozšířené reality
- Informační využití rozšířené reality
- Průmyslové využití rozšířené reality

3.3.1. Komerční využití rozšířené reality

Komerční využití rozšířené reality nebylo prvním způsobem jejího využití. Přineslo však s sebou velkou medializaci a také rozšíření tohoto pojmu do společnosti a navazovalo tak na úspěchy virtuální reality.

3.3.2. Informační využití rozšířené reality

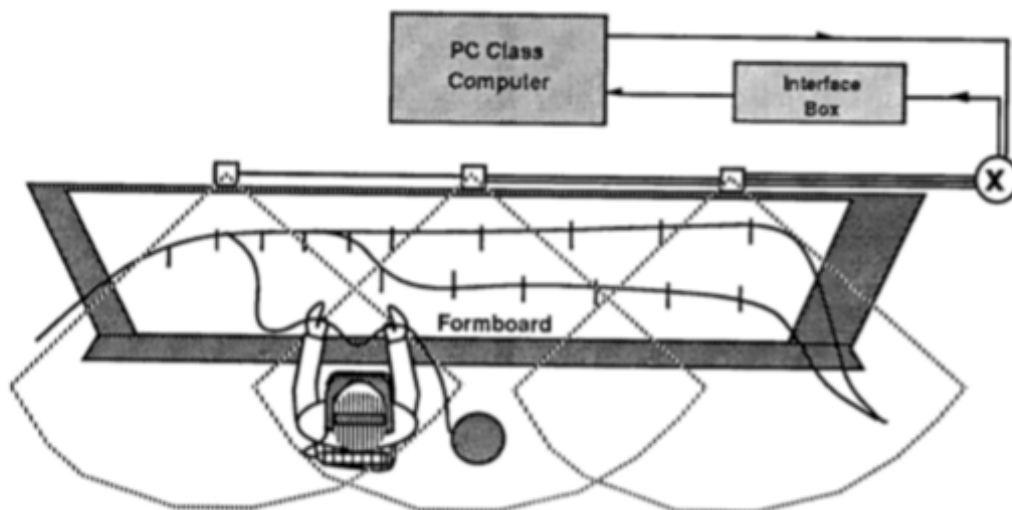
Informační využití rozšířené reality bylo spolu s průmyslovým, na začátku jejího vývoje. Informační využití si klade za úkol uživateli zjednodušit život za pomoci zobrazování relevantních informací nejen o jeho bezprostředním okolí. Příkladem jsou například Headup displeje v automobilech, které zobrazují řidičovi relevantní informace, jako například rychlost a pokyny z navigace, přímo do zorného pole. Informační využití rozšířené reality dokáže také pomoci lidem s poruchou sluchového aparátu, kdy jednotka zobrazující uživateli prostředí rozšířené reality, analyzuje okolní zvuky a dokáže převést řeč ostatních lidí na text zobrazovaný do zorného pole uživatele. [google článek]

3.3.3. Průmyslové využití rozšířené reality

Průmyslové využití rozšířené reality nachází své využití v údržbě a opravách průmyslových zařízeních, v návodech pracovních činností, v reportingu a zaškolování. Rozšířená realita je schopna zjednodušit servisní úkoly, zkrátit dobu odstávky a také zkrátit a zlepšit zaškolování personálu.

3.4. Historie rozšířené reality

Rozšířená realita se stala populárním tématem výzkumu okolo roku 1990, kdy první prototypy byly vytvářeny jako head-mounted displays (HMDs), tedy jako náhlavní displeje, které zobrazovaly dodatečné informace o vnímané realitě. Tato zařízení byla schopna zobrazovat pouze jednoduché informace, ale i tak si našla cestu do mnoha odvětví. Jeden z prvních využívaných systémů AR k asistenci, konkrétně z roku 1992, byl systém využívající právě HMDs, který zobrazoval pracovníkovi návod na zapojení kabeláže u letadel Boeing. Systém zobrazení kabeláže je vyobrazen na obrázku č. 4. Dalšími aplikacemi rozšířené reality byly například helmy bojových pilotů. [3],[7]



Obrázek 4 – Ukázka ze studie rozšířené reality od společnosti Boeing

3.5. Výhody rozšířené reality na pracovištích

Se zvyšující se komplexností servisních úkonů se úměrně zvyšuje i jejich náročnost. Technici často musejí být schopni vykonávat údržbu na větším počtu strojů než v minulosti a vzhledem k tomu, že s počtem strojů roste také složitost jejich údržby, je nutné, aby byla technikům jejich práce ulehčována alespoň pomocí jasných servisních instrukcí a návodů. K tomuto ulehčení se čím dál tím více začínají využívat aplikace rozšířené reality. [1]

Rozšířená realita zažívá v poslední době velký vzestup právě díky výhodám, které její použití přináší. V rozšířené realitě je možné zobrazovat přesné informace k právě vykonávaným činnostem bez nutnosti odvrácení pozornosti či pohledu. V rozšířené realitě mohou být zobrazeny lékařské vizualizace, servisní postupy krok za krokem, různé anotace, navigace a další. Z toho plynou jednotlivé výhody využití rozšířené reality, kdy mezi ty nejdůležitější patří: [1], [20]

- Zpřehlednění pracovních operací
- Zkrácení času operací
- Snížení chybovosti operací
- Zkrácení výukového a studijního času

3.5.1. Zpřehlednění pracovních operací

Jak již bylo řečeno, s rychlým rozvojem strojů a zařízení se zvyšuje také náročnost jejich oprav a údržby. Tyto činnosti bývají často komplexní a záleží při nich na každém detailu, což činí operace složitými a zároveň vede k velkému psychickému tlaku na pracovníka, který vykonává tyto činnosti. Pokud je pracovník vybaven zařízením, které dokáže jeho realitu rozšířit o užitečné informace či přesný pracovní postup, tak může práci vykonávat s větším přehledem a tím pádem i větším klidem. Velkou výhodou rozšířené reality je právě nejen zlepšení kognitivních schopností, ale také následné snížení tlaku na pracovníka a to právě díky zpřehlednění jeho činnosti.

Přehledností pracovních úkolů při asistenci pomocí rozšířené reality se v roce 2003 zabývala studie, která porovnávala hodnotu mentální zátěže při stavbě stavebnice LEGO s využitím standardního papírového návodu a návodu zobrazovaného přímo do zorného pole účastníka

pomocí HMDs. Hodnoty mentální zátěže byly měřeny pomocí NASA Task Load indexu. Studií bylo zjištěno, že účastníci využívající AR asistenci byli vystaveni mnohem menšímu mentálnímu tlaku než účastníci s papírovým návodem. [8]

Další studie se zabývala využitím rozšířené reality při navigaci. Při této studii využívalo dvanáct účastníků standardní GPS navigaci umístěnou ve středu čelního skla na jeho spodní hraně. Další dvanáct účastníků využívalo vozidlo, kde byly naváděcí instrukce zobrazovány na čelní sklo přímo do jejich zorného pole. V rámci této studie byly opět potvrzeny výhody rozšířené reality. Účastníci, kteří projížděli trasu podle standardní GPS byli vystaveni častějším problémům s pozorností, které byly způsobeny častými pohledy mimo přirozené zorné pole řidiče. Řidiči, kteří měli instrukce promítány přímo do zorného pole tyto problémy buďto neměly vůbec a nebo v menším množství. [9]

3.5.2. Zkrácení času operací

Se zvyšující se náročností servisních operací se zvyšuje i časový fond, což vede k prodloužení odstávek. Doba odstávky nemusí být nutně prodloužena jen kvůli větší náročnosti práce technika, čas odstávky může být ovlivněn hledáním v servisních manuálech, čekáním na příjezd autorizovaného servisu nebo čekáním na email od technické podpory. Vzhledem ke stále zvyšujícím se požadavkům na zkrácování doby odstávky je tedy nutné se zaměřit na veškeré možnosti zkrácení této doby.

Bylo prokázáno, že využití rozšířené reality významně zkracuje dobu potřebnou k vykonávání činností a to napříč různými odvětvími. V již zmiňované studii, která využívala stavebnici LEGO ke zkoumání benefitů rozšířené reality bylo zjištěno, že respondenti studie, kteří měli k dispozici návod ve rozšířené realitě zobrazovaný pomocí HMD displeje přímo do jejich zorného pole zvládali stavebnici dokončit v průměru o 40 % rychleji než respondenti využívající standardní papírový návod. [8]

Další studie urychlení servisních prací díky rozšířené realitě porovnávala různé druhy možné asistence servisnímu technikovi, kdy mu byly při servisních pracích na obrněném transportéru promítány jednotlivé kroky postupu pomocí třech různých způsobů: [1], [2], [19]

- Zobrazením postupu na LCD displeji umístěném na zápěstí
- Zobrazením postupu v náhlavním displeji
- Zobrazením postupu v rozšířené realitě

Studie se účastnilo šest mechaniků, kteří byli vybráni z čerstvých absolventů vojenského technického kurzu. Účastníkům bylo mezi 18 – 28 lety, všichni byli praváci a jejich počítačové znalosti byly od středně pokročilých až po rozsáhlé. Každý z účastníků studie měl za úkol vykonat servisní úkon složený celkem z 18 kroků. Tyto kroky byly účastníkům předem neznámé a poprvé jim byly zobrazovány až na vybraném asistenčním zařízení. [10], [19]

Bylo zjištěno, že účastníci využívající AR dokončili servisní postup v průměru o 23 % rychleji, než účastníci, kteří byli vybaveny LCD displejem na zápěstí. Dále bylo zjištěno, že díky využití asistence v AR se technik rychleji orientuje v pracovním prostoru – při využití asistence v AR byl technik schopen lokalizovat místa plnění jednotlivých kroků postupu (například lokalizovat správný šroub, který bylo potřeba povolit) o 47 % rychleji než s LCD panelem na zápěstí a o 56 % rychleji než při využití náhlavního displeje. [10], [19]

3.5.3. Snížení chybovosti operací

Chybovost operací je přímo provázána se snahou zkracovat čas jednotlivých servisních či výrobních úkonů. Často se stává, že ve snaze o zkrácení doby odstávky dojde ke zvýšení stupně chybovosti u jednotlivých operací, což může mít za následek u určitých aplikací nutnost opakování servisního úkonu a prodloužení doby odstávky. U jiných případů může dojít ke způsobení nenapravitelných škod. [10], [18]

Možností využití asistence za pomoci rozšířené reality ke snížení stupně chybovosti operací se zabývala studie, která porovnávala chybovost při opravách počítačů, kdy byl účastníkům studie návod na opravu poskytnut pomocí AR a v papírové podobě. [10]

Chybovost účastníků, kterým byly instrukce zobrazovány v rozšířené realitě, byla o 60 % menší než účastníků využívajících návod papírový. Dále bylo zjištěno, že účastníci, kteří neměli přechodní zkušenosti s opravou počítače, se při využití asistence za pomoci AR, zlepšili znatelně více, než účastníci, kteří měli s opravami zkušenosti. To ukazuje, že asistence v AR má větší benefity pro nováčky, či začínající techniky, než pro kvalifikované specialisty. [10]

Důležitý poznatek vzešel ze studie, kde byla opět využívána stavebnice LEGO. 24 účastníků – 16 mužů a 8 žen mělo za úkol skládat kostky stavebnice na podložku podle přesně stanoveného klíče. Tento klíč byl účastníkům předávám následujícími způsoby:

- Papírovým plánem s pozicemi jednotlivých kostek
- Pomocí rozšířené reality zobrazované pomocí mobilního telefonu
- Pomocí rozšířené reality zobrazované v Microsoft Hololens

V této studii byly zkoumány dvě skutečnosti – rychlost zorientování se v tom kam která kostka patří a přesnost jejího umístění na podložku. V rychlosti orientace nejvíce pomáhalo řešení s využitím AR promítané pomocí brýlí Microsoft Hololens. Účastníci využívající Hololens byli v průměru o 80 % rychlejší ve výběru správné kostky, než účastníci využívající standardní, papírový návod. Účastníci využívající návod v rozšířené realitě zobrazované pomocí mobilního telefonu byli jen nepatrně rychlejší oproti účastníkům s papírovým návodem. Zajímavé je ale zjištění, které nastalo při vyhodnocování přesnosti umístění na podložku. Účastníci využívající návody v AR se dopouštěli větších odchylek při umístění kostek na podložku než účastníci s papírovým návodem. Tvůrci studie tuto skutečnost připisují k nepřehlednému prostředí AR, které bylo k této studii použito. V tomto řešení rozšířená realita překrývala svými virtuálními modely místa určená k umístění reálných kostek a proto účastníci nebyli schopni umístit kostky na podložku v požadované přesnosti. Je tedy nezbytné, aby byl při vývoji řešení pro asistenci v rozšířené reality kladen důraz na přehlednost finálního řešení. [10]

Další studií, která se zabývala porovnáním AR návodu a běžného papírového návodu byla italská studie z roku 2004. Tato studie se snažila vytvořit co možná nepřehlednější AR návod a pokusit se tak o kompletní eliminaci chybovosti testované servisní operace. V této studii mělo celkem 14 respondentů za úkol provést část generální opravy motoru z motocyklu. V tomto případě nebyl AR návod promítán pomocí náhlavního zařízení přímo do zorného pole technika, ale byl promítán velkoplošným projektorem na plátno umístěné v pracovním prostoru dílny. Tento způsob promítání návodu zajistil krátkou adaptační dobu respondentů na prostředí rozšířené reality a také zajistil maximální přehlednost AR návodu. Díky nasazení řešení, při jehož vývoji byl kladen velký důraz na přehlednost, se povedlo snížit chybovost jednotlivých kroků pracovního postupu o 92,4 %. [10], [17]

Na základě těchto výsledků lze tedy prohlásit, že při využití přehledných a vhodně vyvíjených návodů v rozšířené realitě může být dosaženo významného snížení chybovosti operací a díky snížení chybovosti také ke zkrácení času odstávky stroje či zařízení.

3.5.4. Využití rozšířené reality ke školení

Dalším benefitem, který dokáže rozšířená realita poskytnout je zjednodušení a s tím spojené zrychlení školicích procesů. Je ovšem důležité, aby byl školený personál schopen vykonávat činnosti i bez AR asistence a tuto asistenci by měl používat pouze jako oporu k vykonávaným činnostem. Schopnost vykonávat alespoň základní servisní úkony i bez návodů v rozšířené realitě je důležitá hlavně kvůli možným výpadkům asistenční technologie.

V jedné studii zkoumající benefity školení pomocí rozšířené reality bylo porovnáváno využití standardních výukových videí a AR návodů. Čtyřicet techniků bylo rozděleno na dvě skupiny, které absolvovali školení pomocí AR a výukových videí a následně byl každý z techniků přezkoušet ze školeného postupu v praxi. Ze studie vyplynulo, že školení pomocí výukových videí bývá rychleji pochopeno, ale technici, kteří byli školeni tímto způsobem měli větší tendenci k tvorbě chyb v pracovním postupu. Technici, kteří byli školeni pomocí rozšířené reality si pracovní postup lépe pamatovali. [1]

Další velkou výhodou školení v rozšířené realitě je jeho nasazení ve studiu medicíny a zdravotnictví.

3.5.5. Využití rozšířené reality ke spolupráci

Rozšířená realita může být využívána nejen k asistenci zdatnějšího uživatele méně zdatnému, ale dá se také využít k vzájemné spolupráci uživatelů na stejné úrovni vědomostí. Princip je totožný se vzdálenou asistencí, nicméně je důležité v této práci zmínit, že rozšířená realita nenalézá využití pouze v poskytování instrukcí, ale že je také platným nástrojem na poli vzájemné a vzdálené spolupráce. [2]

4. Využití rozšířené reality k asistenci

Výhody rozšířené reality, které byly popsány v předchozí kapitole jasně ukazují, že jsou aplikace AR vhodným nástrojem k asistenci při plnění pracovních úkolů napříč velkým množstvím oborů.

4.1. Možnosti uplatnění

Asistence využívající rozšířenou realitu má díky benefitům, které poskytuje, široké spektrum možných využití. Hlavními obory, kde AR asistence nalézá své uplatnění jsou: [40]

- Letecký průmysl
- Správa, údržba a stavba nemovitostí
- Automobilový, železniční a lodní průmysl
- Údržba vojenské techniky
- Jaderný průmysl

Každý z těchto oborů má na AR asistenci rozdílné požadavky na formu, kterou je asistence poskytována, nicméně díky rozsáhlým možnostem customizace se dá AR asistence nasadit ve všech výše vyjmenovaných odvětvích.

4.1.1. Letecký průmysl

Letecký průmysl je jedno z hlavních odvětví, které klade do asistence za pomoci rozšířené reality velké naděje. Jedná se zároveň o první odvětví, kde byla AR asistence využita v ostrém provozu. Jak již bylo zmíněno, první aplikaci AR asistence implementovala firma Boeing, která pomocí AR již v roce 1992 zpřehledňovala proces rozvádění elektroinstalace ve svých letounech. [3]

V celém leteckém průmyslu platí přísné normy zajišťující bezpečnost letového provozu a právě rozšířená realita a její aplikace dokáží k zajištění bezpečnosti výrazně přispět. Zvláště pak při údržbě letadel, kdy dochází k problémům z důvodu lidských chyb. Využitím AR asistence v rámci údržby letadel se dokáže chybovost techniků výrazně snížit díky větší přehlednosti a jednoznačnosti vykonávaných úkolů a díky snadnější zpětné kontrole. [5]

Další možnou aplikací AR asistence v leteckém průmyslu je školení techniků. Se stále rozvíjející se moderní technikou letadel bývají standardní metody školení často nedostatečné. Školení leteckých techniků trvá obvykle přes 2000 hodin, obsahuje složité technické postupy a znalosti techniků se kvůli jejich rozsahu špatně předávají nováčkům. AR asistence, která je na obrázku č. 5, dokáže tato školení výrazně zpřehlednit, čímž výrazně přispívá k bezpečnosti letového provozu. [5]



Obrázek 5 – Ukázka využití AR v leteckém průmyslu [12]

4.1.2. Správa, údržba a stavba nemovitostí

Dalším odvětvím, kde nachází AR asistence své uplatnění je správa nemovitostí a stavebnictví. Při správě nemovitostí dokáže rozšířená realita značně pomoci například při vyhledávání vedení ve zdech či v orientaci a lokalizaci v rozsáhlých komplexech. [5]

Při využití AR asistence ve stavebnictví poskytuje rozšířená realita velké benefity při výstavbě (obrázek č. 5) a opravách podzemních sítí, kdy může snadno dojít k poškození již existujících podzemních staveb a sítí. Tato poškození s sebou často přinášejí i velké finanční riziko, kterému se dá ale využitím informací zobrazovaných v prostředí rozšířené reality snadno předejít. [5]



Obrázek 6 – Ukázka využití AR ve stavebnictví [13]

4.1.3. Automobilový, železniční a lodní průmysl

Asistence v rozšířené realitě je často testována a využívána v rámci servisních úkonů na různých součástech z automobilového (obrázek č.7), železničního a lodního průmyslu. Využití rozšířené reality má v těchto odvětvích dva hlavní směry: [14]

- Převod běžných servisních manuálů do AR
- Využití AR pro školení nových techniků

Prvním směrem je převod běžných papírových i digitálních návodů do prostředí rozšířené reality. Proces tvorby AR návodů je časově mnohem náročnější, než tvorba běžného servisního manuálu. Nicméně tato časová a finanční investice se vrátí v dalších krocích životního cyklu výrobku a to díky snížená chybovosti servisních operací a zkrácení času jejich výkonu. [14]

Druhým odvětvím, ve kterých dokáže AR asistence velice přínosná je její využití v rámci školení servisních pracovníků. Přínosy této aplikace AR byly již popsány v této práci popsány dříve.



Obrázek 6 – Ukázka využití AR asistence v automobilovém průmyslu [14]

4.1.4. Vojenství

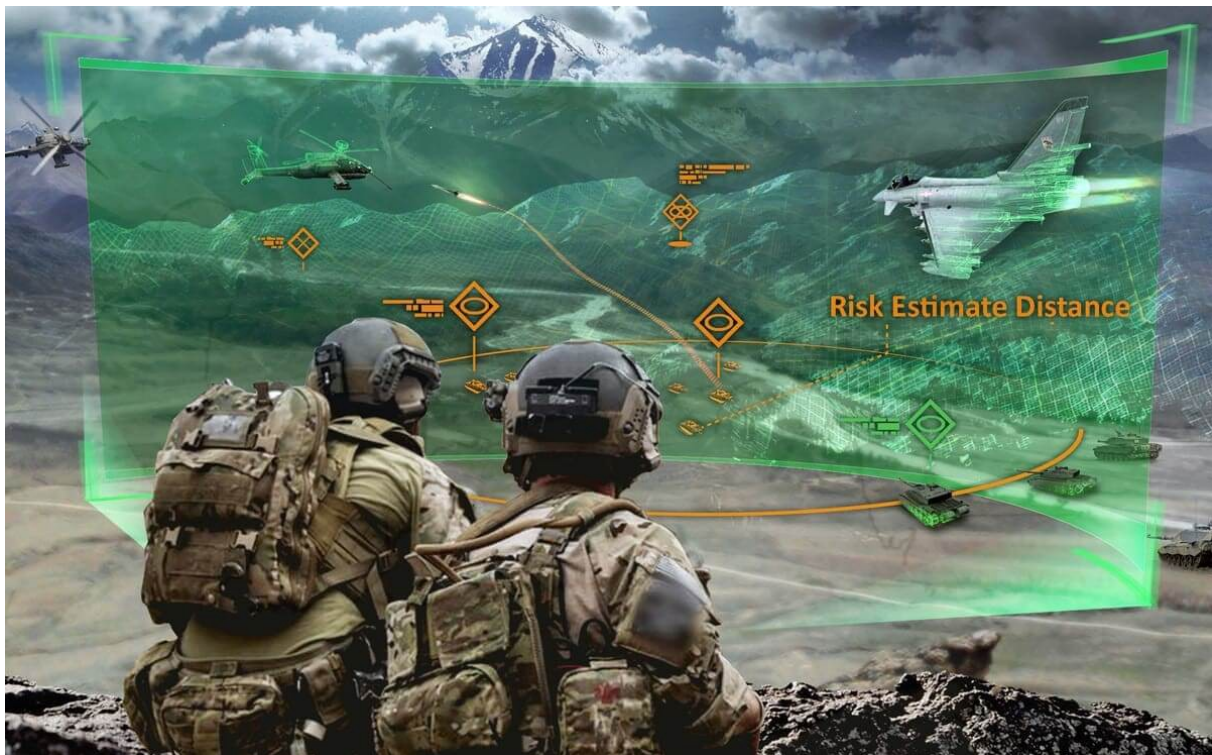
Využití rozšířené reality ve vojenství je často skloňované téma a společnosti vyvíjející armádní vybavení do výzkumů a zlepšování AR prostředí silně investují. V armádě se rozšířená realita začala poprvé využívat v bojových letounech, ale postupně se dostává přes těžkou bojovou techniku až do výbavy speciálních složek.

Ve vojenství je využívám jeden z nemodernějších prvků s rozšířenou realitou vůbec. Jedná se o helmu určenou pro piloty bojových letounů. Vývoj všech uplynulých generací těchto helem stál dohromady již přes jeden trilión amerických dolarů a jeden kus z poslední evoluce těchto

helem, která je určena pro bojový letoun F-35 Lightning II, vyjde na 400 000 amerických dolarů. [7]

Při extrémně nízké váze dokáže pilot v náhlavním displeji této helmy vidět letové informace, informace o poloze a typu jeho cílů, dále si dokáže promítnout obraz z kamer nočního vidění, pohledem pod sebe dokáže vidět „skrze letadlo“ a mnohem více. [7]

Další příklad vojenského využití rozšířené reality je vidět zde na obrázku č. 8.



Obrázek 7 – Ukázka plánovaného využití AR ve vojenství

4.1.5. Jaderný průmysl

Dalším zajímavým odvětvím, ve kterém poskytuje asistence v rozšířené realitě řadu výhod je jaderný průmysl. Jaderný průmysl má na opravy a údržbu, stejně jako letecký průmysl, enormní nároky. Využití rozšířené reality v rámci údržby v jaderném průmyslu dokáže zajistit dodržování nulové chybovosti a zkrátit dobu nutnou k údržbě elektráren. [5]

4.2. Hardware využívaný k AR asistenci

Jak vyplývá z kapitoly zabývající se benefity asistence v rozšířené realitě, AR asistenci lze provozovat za pomoci různých zařízení. Tato zařízení mohou být rozdělena celkem do pěti kategorií: [2]

- Náhlavní displeje
- Hand-held zařízení
- Monitory
- Projektory

4.2.1. Náhlavní displeje (HMDs)

Náhlavní displeje jsou velice výhodným zařízením pro zobrazování rozšířené reality, protože displej je umístěn přímo do středu zorného pole jeho uživatele. Přejít mezi reálným světem a rozšířenou realitou je tedy naprosto souvislý. Náhlavní displeje mohou být dále rozděleny na dva druhy: průhledné displeje a displeje neprůhledné zobrazující video. [2]

Průhledné HMDs (obrázek č. 9) využívají například řešení jako Microsoft Hololens. Principem průhledných displejů je skutečný, nezprostředkovaný výhled na realitu, do kterého jsou následně promítány informace tvořící rozšířenou realitu. Řešení využívající průhledných displejů jsou většinou vybavena ještě dvojicí kamer k 3D skenování a registraci okolního prostoru. [2]

Neprůhledné displeje (obrázek č. 8) se používají v náhlavních zařízeních, která jsou zároveň vybavena kamerou určenou ke snímání reality. Takto pořízený obraz reality je následně promítán do neprůhledných displejů, kde jsou k němu přidávány informace tvořící rozšířenou realitu. Tato zařízení využívají k 3D skenování a registraci okolí kameru snímající obraz. [1],[2]

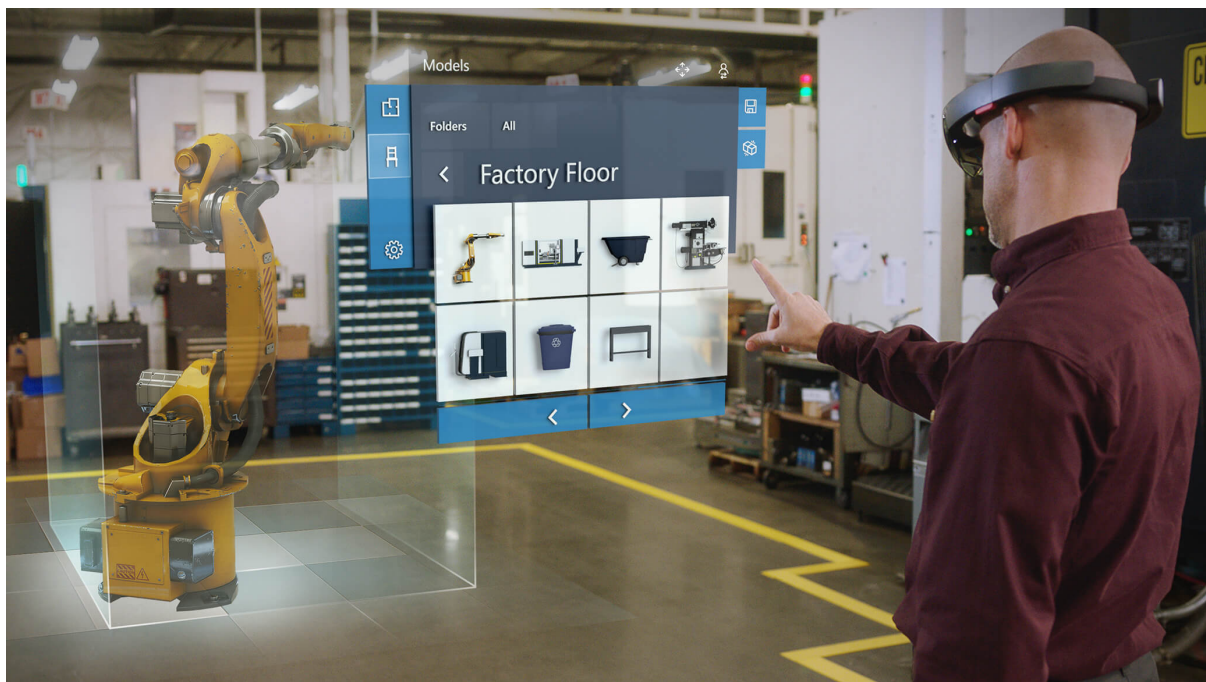
Výhodou zařízení využívajících náhlavních displejů je jejich konstrukce, která umožňuje uživateli volný pohyb rukou bez nutnosti držení AR zařízení. Nevýhodou může nepohodlí způsobené častým či dlouhodobým nošením. [2]



Obrázek 8 – Ukázka HMD s neprůhledným displejem
Lenovo HMD [2]



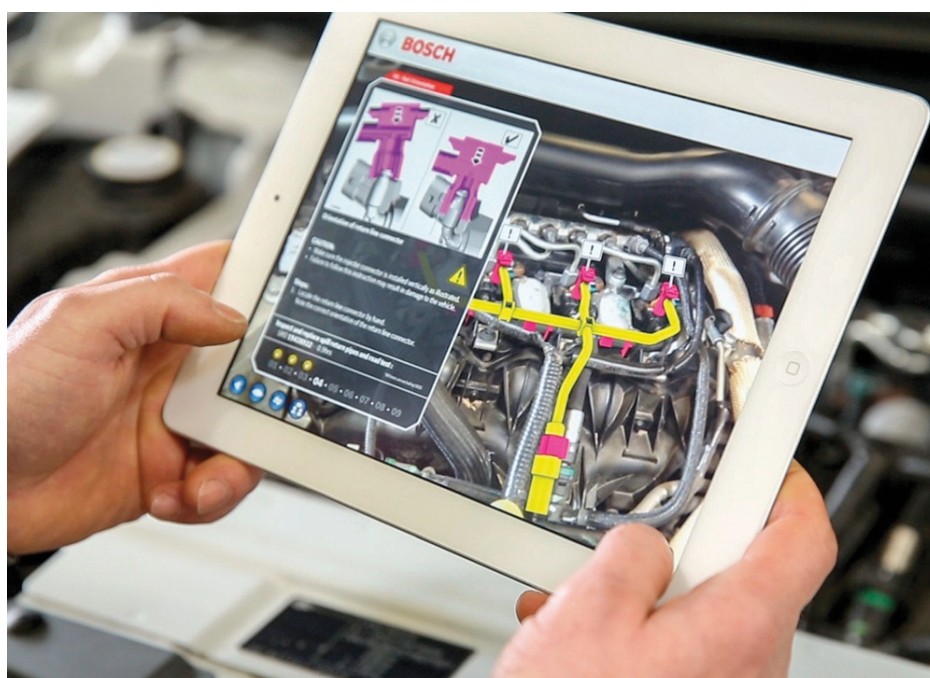
Obrázek 9 – Ukázka HMD s průhledným displejem
Microsoft Hololens [2]



Obrázek 10 – Ukázka využití HMD zařízení Microsoft HoloLens při tvorbě layoutu v AR [2]

4.2.2. Hand-held zařízení

Hand-held zařízení, neboli HHDs, jsou zařízení mezi které patří mobilní telefony a tablety. K zobrazení AR na HHD zařízení se využívá obraz snímaný kamerou zařízení, přes který jsou přidávány digitální informace tvořící rozšířenou realitu. Princip je vyobrazen na obrázku č. 12. Tyto zařízení vytvářejí jakési okno do rozšířené reality, skrze které je viditelná rozšířená realita. AR asistence tvořená pomocí těchto zařízení byla již široce prozkoumána z nízké ceny a snadné dostupnosti vhodných zařízení. [2]



Obrázek 11 – Ukázka využití Hand-held zařízení při AR asistenci [2]

Mezi výhody těchto zařízení patří právě cena a snadná dostupnost kompatibilních zařízení. Nevýhodami HHD zařízení je malá velikost „okna“ do rozšířené reality, nutnost konstantního držení zobrazovacího zařízení, což způsobuje nepohodlí a přerušování pozornosti na řešený problém. [2]

4.2.3. Monitory

Rozšířenou realitu dokáží zobrazovat veškeré monitory napojené na vhodné výpočetní zařízení. Tento způsob zobrazování rozšířené reality dokáže zobrazit stejný obsah jako HMD a HHD nicméně displej zobrazující rozšířenou realitu zůstává stacionární. Na displej se stejně jako u neprůhledných HMDs promítá obraz z kamery, který je následně obohacován o počítačem generované informace tvořící výslednou rozšířenou realitu. Tato aplikace AR se hodí do malých montážních prostorů, kde nejsou žádné požadavky na mobilitu zobrazovacího zařízení. [15]

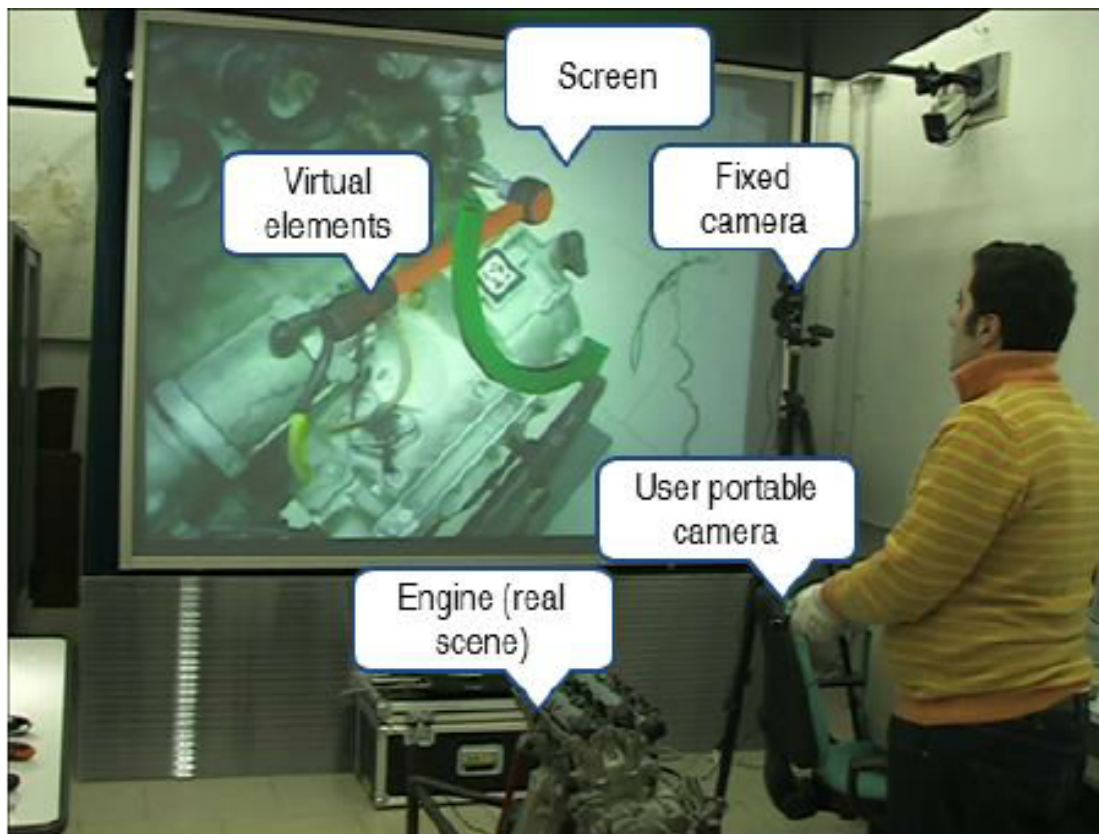
Výhody monitorů je snadné či téměř žádné ovládání a jejich přehlednost. [15]

Hlavní nevýhodou je nulová možnost mobility. [15]

4.2.4. Projektory

Projektory zobrazující rozšířenou realitu (obrázek č. 13) fungují na stejném principu jako monitory, jediným rozdílem je větší zobrazovací plocha, která umožňuje nasazení tohoto řešení do větších provozů. [15]

Výhody a nevýhody jsou stejné jako u monitorů.



Obrázek 12 – Ukázka AR asistence s využitím projektoru [15]

5. Dělení systémů využívajících rozšířenou realitu k asistenci

Dle Jonathana A. Schluetera [1] existují v současné době dva různé systémy asistence v rozšířené realitě. Tyto systémy se liší způsobem, jakým je jejímu uživateli poskytován obsah tvořící asistenci. První možností, který je využíván self-guided systémy, je zobrazování AR obsahu, kterým byl předtím pro konkrétní součást vytvořen v rámci návodové dokumentace. Druhou možností je zobrazování AR informací, které byly vytvořeny specialistou při online konzultaci využívající rozšířenou realitu. Tento způsob je nazýván expert-driven systémem. [1]

5.1. Self-guided systémy

Self-guided systémy jsou systémy asistence, které jsou ovládány buď přím uživatelem a nebo je ovládá samo zařízení, které vzdálenou asistenci poskytuje. Nejčastěji je ale systém asistence ovládán právě uživatelem. Principem těchto systémů je využití samostatného zařízení, nejčastěji to jsou mobilní telefony, tablety a nebo náhlavní displeje, které za pomoci předem připraveného softwaru technikovi zobrazují instrukce k vykonávané práci. Self-guided AR systémy je možné využívat při řešení problémů nejen v rámci výrobních a servisních závodů, ale také při řešení problémů v terénu. Velkým benefitem self-guided systémů asistence je to, že technikovi zlepšují schopnosti při sníženém riziku výskytu problémů. [1]

U self-guided systémů je využíváno předem vytvořených návodů pro AR, které byly zpracovány přímo pro jednu konkrétní problematiku. Jak již bylo v této práci řečeno, tvorba těchto návodů je časově velmi náročná, vyžaduje přesné podklady a bezchybné vyhotovení. [1]

Využití self-guided systémů asistence za pomoci rozšířené reality poskytuje bezpečnou, efektivní a přesnou formu výkonu činností spojených s údržbou a opravami napříč různými odvětvími. Nicméně údržba a opravy bývají často nevyzpytatelnou disciplínou a v případě, že je řešený problém odlišný od problému modelového, podle kterého byl vytvářen návod pro rozšířenou realitu, dochází ke kolizi reality a informací zobrazovaných v jejím rozšíření. Stejný problém nastane také v situaci, kdy nemá technik k dispozici správné nářadí. V těchto případech je způsob údržby či opravy vedený za pomoci rozšířené reality bezpředmětný a je tedy nutné, aby byla oprava dokončena samostatně technikem. [1]

Vzhledem k tomu, že je nemožné, aby byl u komplexních zařízení vytvořen systém popisující každou možnou poruchu, je nutné, aby byli technici, kteří dané opravy vykonávají, stále schopni tyto opravy provádět i samostatně, protože asistence za pomoci rozšířené reality stále není schopna plně nahradit schopnosti a zkušenosti jednotlivých techniků. [1]

5.2. Expert-driven systémy

Expert-driven systémy jsou využívány ke vzdálené asistenci v rozšířené realitě. Jsou tedy opakem self-guided systémů, ve kterých nedochází k žádné přímé asistenci od dalšího člověka. V rámci expert-driven systémů je poskytována online asistence vedená expertem na danou problematiku, která je technikovi zobrazována za pomoci rozšířené reality. Její využití přichází na řadu v případě, že technik není na základě svých schopností s to zajistit, aby byl servisní úkol vykonán či dokončen. Tento způsob asistence bývá využíván v případě nedostatku specializovaných techniků. [1]

V expert-driven systémech je technik vybaven zařízením k zobrazování rozšířené reality. Nejčastěji se jedná o HMDs (náhlavní displeje), mobilní telefony a nebo tablety. Technik pomocí kamery na tomto zařízení snímá svůj pohled na pracovní prostor, ve kterém je potřeba vykonat údržbu či opravu. Obraz z jeho kamery je přenášen do zařízení specialisty, které je schopné obraz přehrát a zároveň jej obohacovat o AR instrukce v podobě textu, 3D modelů či různých kreseb. AR instrukce jsou následně zobrazovány displeji technikova zařízení, který podle nich vykonává jednotlivé pracovní kroky. Po celou dobu asistence probíhá mezi technikem a specialistou hovor, ve kterém spolu mohou technik a specialista celý pracovní postup konzultovat. [1]

6. Tvorba rozšířené reality

V posledních letech byla AR asistence často zkoumaným tématem. Jejím benefitům bylo věnováno mnoho studií po celém světě, nicméně mnohem méně pozornosti bylo věnováno náročné tvorbě obsahu, který je k této asistenci využíván. Jedná se o především o tvorbu 3D modelů, plánování a vytváření animací využívajících tyto modely a příprava správné implementace animací do kamerou zachycované reality. V roce 2008 byly věnovány popisu tvorby asistenčního AR obsahu pouze 4 % všech studií, zabývajících se rozšířenou realitou. [2],

Prvním způsobem tvorby asistenčního obsahu byla ruční tvorba obsahu pomocí CAD softwarů a následná implementace obsahu programováním. Bylo tedy nutné, aby byl AR vývojář schopen tvorby 3D modelů, programování a zároveň rozuměl problému, pro který je daná AR asistence vytvářena. S postupným rozvojem AR asistence jsou představována i nová řešení tvorby asistenčního AR obsahu. Tato řešení tvorby AR obsahu mohou být rozdělena do 3 kategorií: [2]

- Předem připravené systémy
- Automaticky generované systémy
- Expert-driven systémy

6.1. Předem připravené self-guided systémy AR asistence

Předem připravených systémy, jak již vyplívá z názvu, jsou připravovány před samotným nasazením AR systému do provozu a tvorba jednotlivých návodů je zakomponována do vývoje celého systému AR asistence. Pro tvorbu těchto návodů je důležité, aby byly vytvářeny specialistou na řešenou problematiku.[2]

6.2. Automaticky generované self-guided systémy AR asistence

Automaticky generované systémy téměř eliminují nutnost přípravy jednotlivých AR návodů předem. AR zařízení pozná na základě 3D skenování okolí a nebo vhodně umístěného markeru, u jakého zařízení se technik nachází a na základě toho zařízení samo vytvoří z databáze dílů a pracovních postupů požadovaný návod s co nejméně kroky. Tato metoda je schopna ušetřit velké množství času spojeného s tvorbou jednotlivých návodů. Je ale nezbytné, aby byl každý návod jednotlivě validován. Postup automatické tvorby AR návodů je zatím na samotném začátku, nicméně s rozvíjejícími se algoritmy, které dokáží rozeznat jednotlivá zařízení a následně zobrazit automaticky generovaný návod, se tato metoda tvorby návodů stává vysoce efektivní a účinnou. [2]

6.3. Expert-driven systémy AR asistence

Expert-driven systémy jsou založeny na online tvorbě AR návodu specialistou s minimální možnou námahou. V rámci této metody tvorby AR návodů jsou tvořeny zejména generické systémy, které budou popsány dále v této práci. [2]

Každý z těchto systémů má své klady a zápory. Například systém Expert-driven asistence je vysoce efektivní a vyžaduje minimální přípravu. Na druhou stranu je nutné aby bylo k řešení problému nasazeno dva technici. [2]

Zároveň jsou všechny tyto systémy založeny na dvou metodách poskytování asistence:

- Generické AR systémy
- Modelově založené systémy

6.4. Generické systémy

Generické systémy využívají k reprezentování instrukcí v rozšířené realitě základní symboly. Těmito symboly jsou například šipka, kruh a nebo vykřičník. K tvorbě generických systémů nejsou potřeba CAD systémy a jejich tvorba je rychlá. [2]

6.5. Modelově založené systémy

Modelově založené systémy využívají 3D modely k přesné identifikaci problémových součástí. Tyto digitální 3D modely jsou využívány k AR překrytí skutečných součástí nebo zařízení, které je potřeba opravit. Tímto digitálním překrytím je odstraněn problém s možnou chybnou identifikací, což je velkým výhodou modelově založených systémů. [2]

7. Návrh řešení vzdálené asistence pomocí rozšířené reality ve vybraném podniku

Cílem praktické části této práce bylo vytvořit a otestovat návrh pro implementaci vzdálené asistence za pomoci rozšířené reality do podniku. V následujících kapitolách bude tedy detailně popsán řešený problém, navrhované řešení problému a průběh ověření jeho funkcionality.

Ještě před popisem problému a společnosti, ve kterém bude tento problém řešen, je nutno uvést, že si společnost nepřeje uvádět konkrétní částky a proto budou dále v této práci používány k popisu částek využívány Peněžní Jednoty označovány zkratkou PJ.

7.1. Popis podniku

Podnik, ve kterém byla řešena implementace zařízení pro vzdálenou asistenci v rozšířené realitě se nazývá DRAGON PRESS s.r.o.. Tento polygrafický závod se zabývá malonákladovým, offsetovým a velkoformátovým digitálním tiskem. Jedná se o malý podnik s počtem zaměstnanců do 50 a ročním obratem do 10 mil. Euro. Podnik je vybaven moderními tiskovými stroji a ročně investuje do údržby a oprav více než 400 000 PJ. Náklady na prostoje nebyly v tomto podniku vyčísleny. Cílem podniku je náklady na údržbu a opravy meziročně snižovat o 7% až k hranici 250 000 PJ. Tohoto cíle chce podnik dosáhnout pomocí řízených investic do prediktivní údržby a zlepšením současných procesů spojených s opravou strojů a zařízení.

7.2. Popis problému

Téměř čtvrtina offsetové produkce tiskovin je v podniku tištěna na moderním čtyřbarevném japonském stroji Komori Lithrone S29. Tento stroj se již nachází v pozáručním období a proto jsou veškeré servisní výjezdy hrazeny v plné výši. Vzhledem k umístění evropského servisního střediska v anglické Londýně a světové servisní centrály v japonském Tokiu, jsou tyto servisní výjezdy značně nákladné.

Za rok 2018 byly vykonány celkem tři servisní výjezdy z evropského servisního centra s průměrnou cenou 57 733 PJ. Do tohoto průměrného nákladu nejsou započítány náklady spojené s prostojem tiskového stroje. Celkově bylo za všechny servisní výjezdy ke stroji

Komori Lithrone S29 zapláceno 180 439 PJ, při čemž velkou část z této částky tvořily náklady spojené s dopravou technika a jeho ubytováním v místě závodu. Například v roce 2018 bylo za celkový počet 21,5 odpracovaných hodin servisním centrem vyfakturováno 41 323 PJ. Další nezbytnou položkou bylo 31 667 PJ zaplacených za náhradní díly. Zbylých 107 449 PJ bylo zapláceno za dopravu a ubytování technika v místě podniku.

Cílem společnosti je tyto servisní náklady snížit buďto zavedením pravidelné a rozsáhlé prediktivní údržby a nebo nalezením vhodného způsobu pro snížení nákladů na servisní výjezdy.

7.3. Návrh řešení problému za pomoci vzdálené asistence v rozšířené realitě

Jak již bylo řečeno v předchozí kapitole, servisní výjezdy z londýnského servisního centra jsou spojeny s vysokými náklady na dopravu do místa závodu a na ubytování technika v místě podniku. Jedna hodina práce technika, za kterou je servisním centrem fakturováno 1 922 PJ se tak mnohonásobně prodražuje. Z tohoto důvodu se podnik snaží najít jiné, nové způsoby vykonávání servisních úkolů při zachování požadované kvality.

V případě nasazení vzdálené asistence v rozšířené realitě by mohl opravu vykonávat zaměstnanec podniku přímo pod dohledem odborníka ze servisního centra. Díky tomu by měla být zachována kvalita opravy a také by měla být snížena její cena, protože zaměstnanec společnosti by opravy vykonával v rámci své pracovní doby a servisní středisko by účtovalo jen hodiny čisté vzdálené asistence, bez přidaných nákladů za servisní výjezd. Z původních oprav zůstanou tedy jen náklady spojené s nákupem náhradních dílů.

7.3.1. Výběr vhodného hardwaru

Komerční řešení vzdálené asistence v rozšířené realitě byly v době psaní této práce na svém začátku. Různými společnostmi byla vytvořena různá asistenční řešení, která primárně využívají hand-held zařízení (smartphone, tablet), na kterém je spuštěna speciálně vyvinutá aplikace, která zabudovanou kamerou snímá pracovní prostor technika. Obraz pracovního prostoru je přes internet přenášen do počítače asistenčního experta, který je schopen obraz rozšiřovat o prvky rozšířené reality, které jsou následně zobrazovány na displeji hand-held zařízení. Nicméně vzhledem k charakteristice řešeného problému bude pro potřeby této práce voleno řešení poskytující vzdálenou asistenci pomocí průhledného náhlavního displeje, viz kapitola 4.2.1.

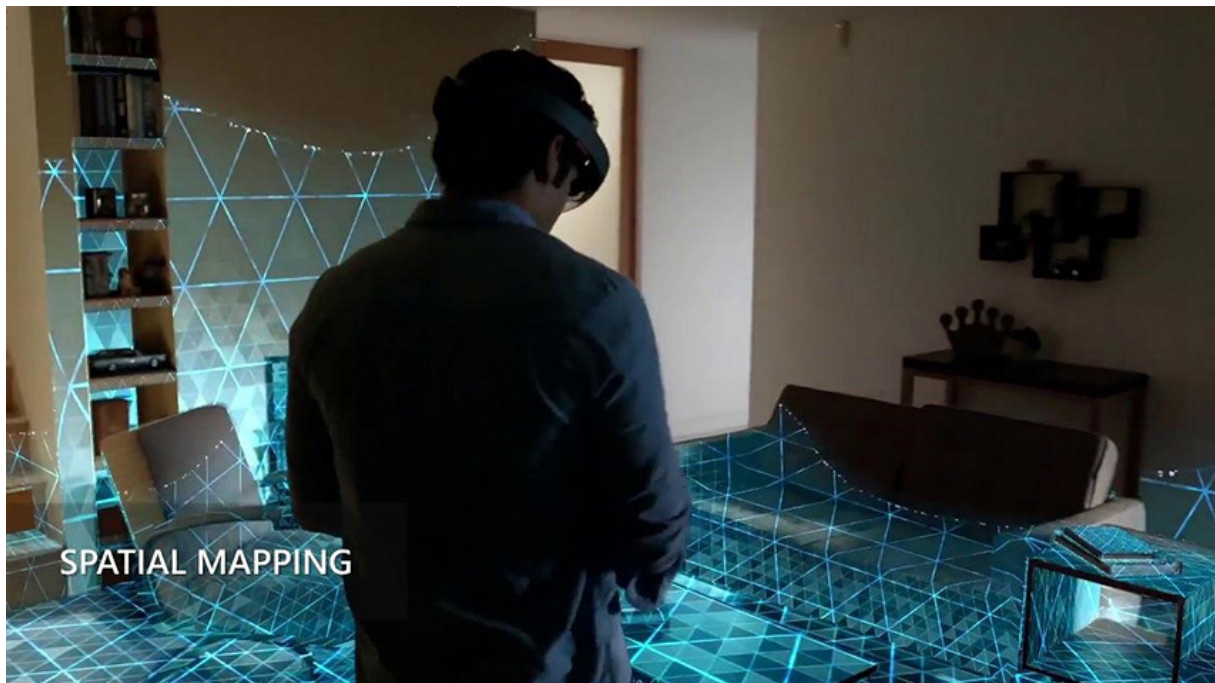
Náhlavní průhledné displeje, které jsou označované také anglickým pojmem smart glasses (v překladu chytré brýle) jsou na trhu krátkou dobu a jejich dostupnost je velice omezená a bývá často spojena s vysokými náklady. V této práci budou využívány brýle pro rozšířenou realitu od společnosti Microsoft s obchodním označením HoloLens a to z důvodu možnosti bezplatného zapůjčení pro tuto práci. Z tohoto důvodu nebudou v této práci zmiňovány žádné jiné brýle pro rozšířenou realitu.

Microsoft HoloLens, brýle pro rozšířenou realitu, využívají dvou zabudovaných průhledných displejů, do kterých promítají digitální informace rozšiřující realitu.

Průmyslová definice Microsoft HoloLens definuje jako zařízení, samostatný průhledný počítač, který dokáže uživateli promítnout pomocí průhledných displejů digitální obrazce (2D i 3D), kterými obohatí vnímanou realitu o relevantní informace.

Microsoft Hololens jsou vybaveny vysoce výkonným procesorem a grafickou kartou, kdy sám Microsoft udává, že tyto brýle mají větší výpočetní výkon než běžný notebook. Procesor a grafickou kartu ještě doplňuje série čidel a vestavěných kamer, mezi něž patří IMU senzor vybavený gyroskopem, akcelerometrem a magnetometrem, dále čtyři kamery (dvě na každé straně brýlí) určené k 3D skenování okolí, jednu hloubkovou infračervenou kameru pro měření vzdáleností, 2MPx video kameru s úhlem záběru 120°, senzor ambientního osvětlení a 4 mikrofony.

Díky těmto sensorům a kamerám dokážou brýle Microsoft Hololens vytvářet přesné 3D modely prostředí pomocí trojúhelníkových sítí (technologie spatial mapping viz Obrázek 13), do kterých následně přidávají objekty rozšířené reality.



Obrázek 13 - Ukázka skenu pomocí trojúhelníkové sítě [16]

Díky 3D skenování okolí a hloubkové kameře dokáží brýle Hololens zobrazovat objekt, který byl virtuálně vytvořen, stále na stejné místě i v případě, že se změní poloha pozorovatele. A to i v případě, že pozorovatel ztratí objekt na chvíli ze svého zorného pole.

8. Studie proveditelnosti

8.1.1. Definování požadavků pro provoz AR asistence

K využívání možností vzdálené asistence za pomoci rozšířené reality zobrazované ve zvoleném zařízení Microsoft Hololens je nutno kromě samotného zařízení zakoupit také licenci k softwaru Dynamics 365 Remote Assist. Tento software je dodáván opět společností Microsoft. Pro účely této práce byla využita zkušební doba tohoto softwaru.

K samotnému provozu vzdálené asistence na tomto zařízení je také nutno mít v rámci závodu k dispozici dobé pokrytí sítí Wi-Fi. Tato podmínka je v současné době již splněna. Posledním požadavkem na provoz vzdálené asistence je proškolení personálu k ovládání zařízení Microsoft Hololens. Toto proškolení bude provedeno řešitelem této práce.

Dále je nutno splnit podmínky samotných brýlí pro rozšířenou realitu. Výrobce deklaruje, že brýle Microsoft Hololens potřebují bezproblémovému fungování osvětlení bez stroboskopického efektu o minimální intenzitě 500 luxů. Dále pomáhá brýlím v orientaci členitost a jednoznačnost prostředí. [Microsoft web]

8.1.2. Testování navrženého řešení v prostorách podniku

K otestování navrhovaného řešení v prostorách podniku bylo nejprve nutno zvolit milníky, které musí navrhované řešení splnit, aby mohlo být nasazeno. Těmito milníky jsou:

- Dostatečná internetová konektivita
- Vhodné osvětlení pracovního prostředí
- Ověření přesnosti vytvářeného 3D skenu okolí
- Ověření funkčnosti softwaru Dynamics 365 Remote Assist

Testování vzdálené asistence v rozšířené realitě za pomoci zařízení Microsoft Hololens probíhalo mimo pracovní dobu za účasti ekonomického ředitele a pracovníka údržby. K samotnému testování byl využit počítač připojený k internetu pomocí mobilního hotspotu, nebyl tak připojen ke stejné síti jako brýle Microsoft Hololens a brýle Hololens, které byly připojeny k interní Wi-Fi síti podniku. Pro účely ověření dostatečné internetové konektivity bylo na všech počítačích, které jsou běžné k této síti připojeny a tím pádem sdílejí jeden přístupový bod k internetu, spuštěno na jedné části stahování, na druhé části nahrávání velkého souboru k simulaci zatížení sítě. Při takovémto vytížení sítě byl mezi brýlemi Hololens a počítačem využívající jiný přístupový bod k internetu uskutečněn asistenční videohovor s délkou 45 minut, který měl za úkol ověřit, zda má internetové připojení podniku dostatečnou kapacitu k provozu asistenčního videohovoru při obvyklém zatížení sítě. Ukázka z tohoto procesu je vyobrazena na obrázku č. 14. V průběhu tohoto asistenčního videohovoru nedošlo k žádnému zhoršení kvality či úplnému zastavení videohovoru. Z tohoto důvodu byla internetová konektivita shledána jako dostatečná.



Obrázek 14 - Ukázka z testování internetové konektivity

Při zkoumání vhodného osvětlení v pracovním prostoru podniku bylo pomocí zabudované kamery na brýlích Hololens natočeno 15 minutové video, které bylo následně analyzováno, zda nedošlo k problikávání světelného zdroje. Brýle Microsoft Hololens natáčí výhradně ve frekvenci 30 snímků za vteřinu, což by při využití běžného evropského osvětlení o frekvenci 50 Hz mohlo způsobit problikávání světelného zdroje v přenášeném videu. Toto problikávání by se mohlo projevit částečně a nebo vůbec neosvětlenými snímky videa. K této skutečnosti však v rámci testování nedošlo a proto bylo osvětlení shledáno vyhovujícím.

Dalším krokem bylo ověření přesnosti 3D skenování okolí. Brýle Microsoft Hololens dokáží spolu s řešením Dynamics 365 Remote Assist udržovat virtuální objekty na stejné místě i v případech, kdy uživatel odkloní pohled nebo pohybuje hlavou při chůzi. Celé je to možné díky přesnému skenování okolí a vytváření relativně přesných 3D modelů okolí, se který pak výpočetní jednotka brýlí pracuje. Tato funkcionality je při vzdálené asistenci velice důležitá. Umožňuje totiž uchování polohy označení více nezávislých objektů i v případě, že se technik pohybuje. Viz obrázky 15 a 16.



Obrázek 15 - Testování přesnosti 3D skenování



Obrázek 16 - Testování přesnosti 3D skenování

Ověřování milníků popsaných výše bylo uskutečněno v rámci testování řešení pro vzdálenou asistenci při využití brýlí Hololens Microsoft Dynamics 365 Remote Assist. Tento software umožňující anotaci technikem vnímané reality pomocí grafických artefaktů, video a nebo například PDF souborů celou dobu fungoval a umožňoval tím bezproblémovou komunikaci mezi uživatelem Hololens vykonávajícím opravu a externím technikem poskytujícím vzdálenou asistenci.

Díky splnění veškerých stanovených milníků je navrhované řešení vzdálené asistence vhodné pro nasazení do podniku.

8.2. Ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení

V této kapitole bude vyčíslena investice nutná k nasazení vzdálené asistence, její provozní náklady a možné úspory, které s sebou vzdálená asistence přinese.

8.2.1. Vynaložené finanční prostředky na opravy v r. 2018

V popisu řešeného problému již bylo uvedeno, že společnost DRAGON PRESS s.r.o. řešila v roce 2018 celkem tři opravy stroje Komori Lithrone S29. Všechny tyto opravy byly řešeny evropským servisním centrem z Londýna pomocí servisních výjezdů. Celkem bylo za tyto opravy zapláceno 180 439 PJ.

V následujícím výčtu nákladů jednotlivých oprav se na fakturách vyskytují shodné položky, u kterých je na jednotlivých fakturách uvedena jiná cena. Tato skutečnost je způsobena

rozdílnou dobou jejich nákupu (letenky LHR-PRG) a částečnou odlišností položek (DHL Express poštovné pro komponenty o různé váze a rozměrech).

Další skutečností, kterou je nutno zmínit, je fakt, že externí servisní technici mohou dle interní směrnice servisní společnosti na zahraničním výjezdu pracovat pouze šest hodin denně.

Oprava č.1

První servisní výjezd byl započat dne 13.2. a trval 2 dny. Celková cena za tento výjezd byla servisním střediskem vyčíslena na 71 085 PJ. Veškeré položky faktury za tento výjezd byly včetně částek vypsány do následující tabulky: [51]

Položky a ceny z faktury k servisnímu výjezdu č.1	
Doprava LHR – PRG – KT:	18 838 PJ
Ubytování technika 2 noci:	2 460 PJ
Práce technika 9,5 h:	18 261 PJ
Náhradní díly:	16 660 PJ
DHL Express poštovné:	5 895 PJ
Paušální poplatek za výjezd:	8 971 PJ
Celkem:	71 085 PJ

Tabulka 3 - Položky a ceny z faktury za první servis výjezd

Oprava č.2

Další servisní výjezd probíhal ve dnech 3.-6.7. 2018, kdy hlavním důvodem dlouhého trvání opravy byly prostoje způsobené čekáním na dodání objednaného dílu. Za jeden den prostojů servisního technika je servisním střediskem účtováno 11 534 PJ. Celkem bylo za tuto opravu zapláceno 60 206 PJ. V této částce nejsou zahrnuty náhradní díly nutné na opravu, protože k opravě elektrického obvodu ovládání stroje byly využity neoriginální náhradní díly, které jsou dostupné i na českém trhu za celkovou cenu 5 268 PJ. Celkem bylo tedy za opravu zapláceno 65 474 PJ.

Veškeré položky z faktury jsou opět zobrazeny v následující tabulce: [52]

Položky a ceny z faktury k servisnímu výjezdu č.2	
Doprava LHR – PRG – KT:	20 555 PJ
Ubytování technika 3 noci:	3 768 PJ
Práce technika 8 h:	15 378 PJ
Náhradní díly (nákup v ČR):	5 268 PJ
Paušální poplatek za výjezd:	8 971 PJ
Den prostoje technika (6 h):	11 534 PJ

Celkem:	65 474 PJ
----------------	------------------

Tabulka 4 - Položky a ceny z faktury za druhý servisní výjezd

Oprava č. 3

Posledním servisní výjezdem roku 2018 byl výjezd realizovaný dne 24.10.2018. Za tento krátký servisní výjezd bylo zapláceno celkem 43 880 PJ. [53]

Položky a ceny z faktury k servisnímu výjezdu č.3	
Doprava LHR – PRG – KT:	21 888 PJ
Ubytování technika 1 noc:	1 487 PJ
Práce technika 4 h:	7 689 PJ
Náhradní díly (dovoz technikem):	3 845 PJ
Paušální poplatek za výjezd:	8 971 PJ
Celkem:	43 880 PJ

Tabulka 5 - Položky a ceny z faktury za třetí servisní výjezd

8.2.2. Roční náklady spojené s provozem Microsoft Hololens

Ještě před analýzou nákladů na opravy při využití vzdálené asistence v rozšířené realitě je nutné definovat náklady spojené s provozem zařízení, které tuto formu asistence umožňuje. V předchozí části práce byly k tomuto účelu zvoleny brýle pro rozšířenou realitu s názvem Hololens od firmy Microsoft.

V současné době vstupuje na trh jejich druhá evoluce, u které byla prodejní cena stanovena na 82 229 PJ. Výše lineárních ročních odpisů tohoto zařízení vychází tedy na 26 776 PJ. Zařízení spadá do odpisové kategorie č.1 s dobou odepisování 3 roky.

K využívání brýlí Microsoft Hololens pro vzdálenou asistenci v rozšířené realitě je nutno také vlastnit licenci k softwarovému řešení vzdálené asistence od firmy Microsoft s názvem Dynamics 365 Remote Assist. Tato licence stojí na období jednoho roku 16 900 PJ. Dalším nákladem, který je spojen s brýlemi Hololens je jejich nabíjení.

Ke stálému udržování brýlí v pohotovosti je nutno je nabíjet 1x týdně. Při ceně 4,6 PJ za 1 kWh vychází roční náklady na nabíjení brýlí Hololens na 4,66 PJ. Jako účinnosti soustavy nabíječka – baterie byly zvoleny hodnoty 70% a 50%.

Roční náklady N_r spojené s provozem zařízení Microsoft Hololens	
Odpisy zařízení:	26 776 PJ
Licence softwarového řešení Dynamics 365 Remote Assist:	16 900 PJ
Výdaje za nabíjení zařízení:	4,66 PJ
Celkové roční náklady N_r:	43 671 PJ

Tabulka 6 - Roční náklady spojené s provozem zařízení Microsoft Hololens

8.2.3. Výpočty doby trvání fiktivních oprav z roku 2018 při využití vzdálené asistence v rozšířené realitě

Z celkových výdajů za opravy stroje Komori Lithrone S29 z roku 2018 bylo 61 281 PJ vydáno jen za cestovní výdaje servisního technika. Tyto náklady, spolu s dalšími, například s náklady na ubytování technika (7 715 PJ) či s náklady na paušální poplatky za servisní výjezdy (26 913 PJ), by bylo možno eliminovat za pomoci vzdálené asistence v rozšířené realitě.

Ještě než bude vyčísleno, k jakým úsporám by došlo při nasazení asistence v rozšířené realitě ve společnosti již na začátku roku 2018, je nutné vyčíslit náklady spojené s jednou hodinou provozu tohoto zařízení. Při opravách provedených v roce 2018 bylo externím servisním technikem odpracováno celkem 21,5 hodiny. Tento časový fond bude brán jako výchozí pro další výpočty nákladů spojených s hodinovým provozem zařízení Microsoft HoloLens.

Při jakékoliv formě vzdálené asistence je časový fond opravy, oproti opravě vykonávané přímo proškoleným servisním technikem, prodloužován. Pokud při opravě externím servisním technikem trvaly všechny opravy v roce 2018 celkem 21,5 hodiny, tak by se tento čas při reálném nasazení vzdálené asistence v rozšířené realitě zcela jistě prodloužil. K tomuto prodloužení dojde z několika důvodů. Prvním důvodem je čas nutný k předání informací o opravě, kdy musí asistující expert nejprve technikovi vysvětlit, jak má technik postupovat při lokalizaci příčiny závady a následně jej instruovat k jejímu odstranění. Dalším faktorem, který prodloužuje opravu je rozdílné pracovní tempo externího servisního pracovníka a interního technika, kdy externí servisní technik těžší z opakovaného vykonávání servisních úkolů a proškolení na daný problém.

Při reálném využití vzdálené asistence v rozšířené realitě je měřena jak doba opravy, tak doba využití vzdálené asistence. Doba využití vzdálené asistence může být buďto shodná s celkovou dobou opravy, anebo kratší. Kratší bude v případě, že servisní technik vykonávající opravu nebude potřebovat vzdálenou asistenci po celou dobu opravy, ale využije ji jen při diagnostice problému, ke zjištění postupu odstranění problému a k případné konzultaci probíhající opravy. Shodná bude v případě, že bude technik využívat vzdálenou asistenci po celou dobu opravy.

Vzhledem k tomu, že se celková doba opravy se zvýší, je nutné zvolit vhodný koeficient prodloužení doby opravy. Pro účely této práce byla zvolena hodnota koeficientu prodloužení $k_p=1,3$. Dále je nutno zvolit koeficient využití vzdálené asistence při jejím využití jen při části opravy. Například při výše uvedených situacích – při diagnostice problému, k zjištění postupu odstranění problému a ke konzultaci probíhající opravy. Pro účely této práce byl zvolen koeficient částečného využití vzdálené asistence $k_c=0,5$.

Nyní bude vypočítáno, jak dlouhou dobu by zabraly jednotlivé opravy z roku 2018, pokud by už v tu dobu byla v podniku zavedena asistence v rozšířené realitě. K výpočtu slouží koeficient prodloužení opravy, který byl zvolen výše. Hodnota koeficientu je $k_p=1,3$. Následně bude vypočítán časový fond asistence v rozšířené realitě při jejím částečném využití pomocí koeficientu částečného využití vzdálené asistence $k_c=0,5$.

Výpočet časového fondu vzdálené asistence při jejím využití po celou dobu opravy (t_{as}):

OPRAVA č.1:

$$\begin{aligned}t_{as1} &= t_{o1} * k_p \\t_{as1} &= 9,5 * 1,3 \\t_{as1} &= 12,35 h\end{aligned}$$

OPRAVA č.2:

$$\begin{aligned}t_{as2} &= t_{o2} * k_p \\t_{as2} &= 8 * 1,3 \\t_{as2} &= 10,4 h\end{aligned}$$

OPRAVA č.3:

$$\begin{aligned}t_{as3} &= t_o * k_p \\t_{as3} &= 4 * 1,3 \\t_{as3} &= 5,2 h\end{aligned}$$

CELKOVÝ ČAS OPRAV:

$$t_{as} = t_{as1} + t_{as2} + t_{as3} = 27,95 h$$

Celkový čas opravy je při koeficientu prodloužení $k_p=1,3$ zvýšen o 6,45 hodiny na hodnotu 27,95 hodiny. Tato hodnota bude brána jako časový fond pro opravy za pomoci vzdálené asistence v rozšířené realitě v roce 2018 při jejím využití po celou dobu oprav.

Výpočet časového fondu vzdálené asistence při jejím částečném využití v rámci opravy

Z časového fondu vzdálené asistence při jejím využití po celou dobu opravy můžeme po vynásobení koeficientem částečného využití $k_c=0,5$ získat časový fond asistence v rozšířené realitě při jejím částečném využití. Výpočet vypadá následovně:

OPRAVA č.1:

$$\begin{aligned}t_{asc1} &= t_{as1} * k_c \\t_{asc1} &= 12,35 * 0,5 \\t_{asc1} &= 6,175 h\end{aligned}$$

OPRAVA č.2:

$$\begin{aligned}t_{asc2} &= t_{as2} * k_c \\t_{asc2} &= 10,4 * 0,5 \\t_{asc2} &= 5,2 h\end{aligned}$$

OPRAVA č.3:

$$\begin{aligned}t_{asc3} &= t_{as3} * k_c \\t_{asc3} &= 5,2 * 0,5 \\t_{asc3} &= 2,6 h\end{aligned}$$

CELKOVÁ DOBA ČÁSTEČNÉHO VYUŽITÍ VZDÁLENÉ ASISTENCE:

$$t_{asc} = t_{asc1} + t_{asc2} + t_{asc3} = 13,975 h$$

8.2.4. Výpočet nákladů na jednu hodinu provozu zařízení Microsoft Hololens

Za pomoci časového fondu využití vzdálené asistence po celou dobu opravy, dále za pomoci časového fondu částečného využití vzdálené asistence a ročních nákladů N_r spojených s provozem brýlí pro rozšířenou realitu Microsoft Hololens lze vypočítat náklady na jednu hodinu provozu zařízení.

Výpočet nákladů na jednu hodinu provozu zařízení Microsoft Hololens při využití vzdálené asistence po celou dobu opravy N_{HL} :

Výpočet nákladů na jednu hodinu provozu brýlí pro rozšířenou realitu při jejich využití po celou dobu asistence (N_{HL}) je následovný:

$$N_R = 43671 \text{ PJ} \qquad N_{HL} = \frac{N_R}{t_{as}} = \frac{43671}{27,95} = 1562,46 \frac{\text{PJ}}{\text{h}}$$
$$t_{as} = 27,95 \text{ h}$$

Náklady jednu hodinu provozu zařízení Microsoft Hololens při využití po celou dobu opravy jsou celkem 1562,46 PJ.

Výpočet nákladů na jednu hodinu provozu zařízení Microsoft Hololens při částečném využití vzdálené asistence po dobu opravy N_{HLC} :

Výpočet nákladů na jednu hodinu provozu brýlí pro rozšířenou realitu při jejich částečném využití po dobu asistence (N_{HLC}) je následovný:

$$N_R = 43671 \text{ PJ} \qquad N_{HLC} = \frac{N_R}{t_{asc}} = \frac{43671}{13,975} = 3124,94 \frac{\text{PJ}}{\text{h}}$$
$$t_{asc} = 13,975 \text{ h}$$

Náklady jednu hodinu provozu zařízení Microsoft Hololens při využití po celou dobu opravy jsou celkem 3 124,94 PJ. Tato hodnota přímo úměrně vychází z nákladů na provoz zařízení Microsoft Hololens při využití vzdálené asistence po celou dobu opravy. Ve výpočtu zůstali náklady na roční provoz brýlí stejné a časový fond byl zmenšen na polovinu. Z čehož plyne, že budou v tomto případě náklady na hodinový provoz brýlí dvojnásobné.

Náklady na poskytnutí jedné hodiny vzdálené asistence

Společnost provozující evropské servisní centrum značky Komori prozatímne vyčíslila částku, za kterou bude poskytovat vzdálenou asistenci. Jedna hodina vzdálené asistence vyjde společnosti na 1 281,5 PJ. Tato částka může být ještě v budoucnu snížena nebo zvýšena, nicméně v době psaní této práce byla aktuální cena jedné hodiny asistence 1 281,5 PJ.

8.2.5. Porovnání nákladů na opravu provedenou externím servisním technikem s fiktivní opravou pomocí vzdálené asistence v rozšířené realitě při jejím plném využití

Pro porovnání nákladů mezi opravami provedenými externím servisním technikem a opravami využívajícími vzdálenou asistenci v rozšířené realitě po celou dobu opravy (celkový časový fond 27,95h; 1h provozu zařízení 1562,46 PJ), je nutno vytvořit fiktivní opravy se vzdálenou asistencí, které budou mít za úkol vyřešit stejné technické problémy, jako byly řešeny v průběhu roku 2018. Tyto opravy budou demonstrovat možné snížení nákladů při odstranění položek spojených s cestou externího technika na místo opravy, s jeho ubytováním či s paušálními výdaji za vykonaný servisní výjezd. Fiktivní oprava bude vykonávána zaměstnancem společnosti v rámci jeho pracovní doby, čímž nedojde k vytvoření dalších nákladů.

OPRAVA č. 1

U první opravy je možno při využití vzdálené asistencí vynechat položky spojené s dopravou technika, s jeho ubytováním a i s jeho prací. Oproti tomu dvě položky přibudou. První

položka je za poskytování vzdálené asistence v celkovém trvání 12,35 hodiny, druhou je provoz brýlí pro rozšířenou realitu Microsoft Hololens po stejnou dobu.

Porovnání finanční náročnosti opravy č.1 externím technikem s opravou využívající vzdálenou asistencí v rozšířené realitě po celou dobu opravy		
	Náklady na opravu externím technikem	Náklady na fiktivní opravu za pomoci vzdálené asistence v rozšířené realitě
Doprava LHR – PRG – KT:	18 838 PJ	–
Ubytování technika 2 noci:	2 460 PJ	–
Práce technika 9,5 h:	18 261 PJ	–
Náhradní díly (nákup v ČR):	16 660 PJ	16 660 PJ
DHL Express poštovné:	5 895 PJ	5 895 PJ
Paušální poplatek za výjezd:	8 971 PJ	–
Vzdálená asistence 12,35 h:	–	15 827 PJ
Provoz MS Hololens 12,35 h:	–	19 297 PJ
Celkem:	71 085 PJ	57 679 PJ

Tabulka 7 - Porovnání nákladů na opravu č. 1 se vzdálenou asistencí po celou dobu opravy

Při pohledu na výsledky uvedené v tabulce č. 7, zjistíme, že bylo při fiktivní opravě za pomoci vzdálené asistence ušetřeno oproti opravě provedené externím servisním technikem celkem 13 406 PJ. Tento výsledek dostaneme po odečtení nákladů na fiktivní opravu od nákladů na opravu provedenou externím servisním technikem.

OPRAVA č. 2

U druhé opravy dojde při fiktivním řešení technického problému k ušetření nejen nákladů na dopravu a ubytování technika, ale také k ušetření nákladů za prostoje technika vzniklé čekáním na dodání náhradního dílu.

Porovnání finanční náročnosti opravy č.2 externím technikem s opravou využívající vzdálenou asistenci v rozšířené realitě po celou dobu opravy		
	Náklady na opravu externím technikem	Náklady na fiktivní opravu za pomoci vzdálené asistence v rozšířené realitě
Doprava LHR – PRG – KT:	20 555 PJ	–
Ubytování technika 2 noci:	3 768 PJ	–
Práce technika 8 h:	15 378 PJ	–
Náhradní díly (nákup v ČR):	5 268 PJ	5 268 PJ
Paušální poplatek za výjezd:	8 971 PJ	–
Den prostoje technika (6 h)	11 534 PJ	–
Vzdálená asistence 10,4 h:	–	13 328 PJ
Provoz MS Hololens 10,4 h:	–	16 250 PJ
Celkem:	65 474 PJ	34 846 PJ

Tabulka 8 – Porovnání nákladů na opravu č.2 se vzdálenou asistencí po celou dobu opravy

Při rozboru výsledků fiktivní opravy č. 2 zjistíme, že bylo oproti opravě externím servisním technikem ušetřeno celkem 30 680 PJ. Hodnota byla opět získána rozdílem nákladů na jednotlivé způsoby opravy.

OPRAVA č. 3

Třetí fiktivní opravou jsou opět ušetřeny náklady za dopravu a ubytování servisního technika, nicméně do fiktivní opravy přibyly náklady za poštovné náhradního dílu, který byl u původního způsobu opravy přivezen přímo externím servisním technikem.

Porovnání finanční náročnosti opravy č. 3 externím technikem s opravou využívající vzdálenou asistenci v rozšířené realitě po celou dobu opravy		
	Náklady na opravu externím technikem	Náklady na fiktivní opravu za pomoci vzdálené asistence v rozšířené realitě
Doprava LHR – PRG – KT:	21 888 PJ	–
Ubytování technika 2 noci:	1 487 PJ	–
Práce technika 4 h:	7 689 PJ	–
Náhradní díly (dovoz technikem):	3 845 PJ	3 845 PJ
Paušální poplatek za výjezd:	8 971 PJ	–
Vzdálená asistence 5,2 h:	–	6 663 PJ
Provoz MS Hololens 5,2 h:	–	8 125 PJ
DHL Express:	–	2 563 PJ
Celkem:	43 880 PJ	21 196 PJ

Tabulka 9 - Porovnání nákladů na opravu č. 3 se vzdálenou asistencí po celou dobu opravy

I přes zvýšení nákladů kvůli nutnosti zaslání náhradního dílu do závodu, byl rozdíl nákladů na opravu opět značný. Tentokrát došlo k ušetření 22 684 PJ.

Celkem bylo při fiktivních opravách ušetřeno 66 717 PJ, což je při procentuálním vyjádření 37%. Tento výsledek je způsoben především odstraněním vysokých cestovních výdajů spojených s mezinárodním přesunem externího technika, které v roce 2018 stály společnost celkem 61 281 PJ. Dalším velkým výdajem, který se podařilo při opravě za pomoci vzdálené asistence odstranit, bylo 11 534 PJ vydaných za den prostoje externího technika.

Celkové úspory při nasazení oprav se vzdálenou asistencí v rozšířené realitě při jejím využití po celou dobu opravy:	
Peněžní vyjádření úspory U_{HL} :	66 717 PJ
Procentuální vyjádření:	37%

Tabulka 10 - Vyčíslení celkových úspor při opravách plně využívajících vzdálenou asistenci v rozšířené realitě

8.2.6. Porovnání nákladů na opravu provedenou externím servisním technikem s fiktivní opravou pomocí vzdálené asistence v rozšířené realitě při jejím částečném využití

V této kapitole budou opět porovnávány reálné opravy provedené externím servisním technikem s opravami fiktivními. Fiktivní opravy budou v tomto případě využívat vzdálené asistence pouze v polovině celkového servisního času, viz kapitola 8.2.3.

OPRAVA č. 1

Při snížení časového fondu vzdálené asistence na polovinu, dojde u první opravy k ušetření nejen cestovních, ubytovacích a paušálních nákladů, ale také k úspoře za provoz zařízení Microsoft Hololens a ke snížení nákladů vydaných za samotnou vzdálenou asistenci.

Porovnání finanční náročnosti opravy č. 1 externím technikem s opravou využívající vzdálenou asistenci v rozšířené realitě pouze částečně		
	Náklady na opravu externím technikem	Náklady na fiktivní opravu za pomoci vzdálené asistence v rozšířené realitě
Doprava LHR – PRG – KT:	18 838 PJ	–
Ubytování technika 2 noci:	2 460 PJ	–
Práce technika 9,5 h:	18 261 PJ	–
Náhradní díly (nákup v ČR):	16 660 PJ	16 660 PJ
DHL Express poštovné:	5 895 PJ	5 895 PJ
Paušální poplatek za výjezd:	8 971 PJ	–
Vzdálená asistence 6,175 h:	–	7 913 PJ
Provoz MS Hololens 6,175 h:	–	19 297 PJ
Celkem:	71 085 PJ	49 765 PJ

Tabulka 11 - Porovnání nákladů na opravu č. 1 se vzdálenou asistencí v polovičním rozsahu

Při pohledu na data, zde v tabulce č. 11, zjistíme, že fiktivní oprava za pomoci vzdálené asistence při jejím využití jen v polovině celkového času opravy vyjde celkem na 49 765 PJ, což je o 21 320 PJ méně než bylo zapláceno za opravu externím servisním technikem. Oproti opravě, která využívá vzdálenou asistenci po celou dobu opravy, je tímto způsobem ušetřeno o 7 914 PJ více.

OPRAVA č. 2

Další oprava, která byla řešená pomocí vzdálené asistence se sníženým časovým fondem byla oprava číslo 2, kdy byly opět ušetřeny prostředky vydané za cestu, ubytování technika a za den prostoje servisního technika.

Porovnání finanční náročnosti opravy č. 2 externím technikem s opravou využívající vzdálenou asistencí v rozšířené realitě pouze částečně		
	Náklady na opravu externím technikem	Náklady na fiktivní opravu za pomoci vzdálené asistence v rozšířené realitě
Doprava LHR – PRG – KT:	20 555 PJ	–
Ubytování technika 2 noci:	3 768 PJ	–
Práce technika 8 h:	15 378 PJ	–
Náhradní díly (nákup v ČR):	5 268 PJ	5 268 PJ
Paušální poplatek za výjezd:	8 971 PJ	–
Den prostoje technika (6 h)	11 534 PJ	–
Vzdálená asistence 5,2 h:	–	6 664 PJ
Provoz MS Hololens 5,2 h:	–	16 250 PJ
Celkem:	65 474 PJ	28 182 PJ

Tabulka 12 - Porovnání nákladů na opravu č. 2 se vzdálenou asistencí v polovičním rozsahu

Při opravě č. 2 bylo vzdálenou asistencí s polovičním časovým fondem ušetřeno celkem 37 292 PJ. Tato úspora je prozatím největší a to díky vysokým nákladům na dopravu technika, jeho dlouhé práci a nutnosti zaplatit jeden den jeho prostoje, způsobeného čekáním na náhradní díly.

OPRAVA č. 3

Jak již bylo popsáno v kapitole 8.2.5, v sekci Oprava č. 3, tak při poslední opravě se vzdálenou asistencí se sníženým časovým fondem bylo nutné přidat kromě položky za vzdálenou asistenci a provoz brýlí ještě položku za poštovné náhradního dílu, který byl při opravě externím servisním technikem přivezen do závodu přímo technikem.

Porovnání finanční náročnosti opravy č. 3 externím technikem s opravou využívající vzdálenou asistenci v rozšířené realitě pouze částečně		
	Náklady na opravu externím technikem	Náklady na fiktivní opravu za pomoci vzdálené asistence v rozšířené realitě
Doprava LHR – PRG – KT:	21 888 PJ	–
Ubytování technika 2 noci:	1 487 PJ	–
Práce technika 4 h:	7 689 PJ	–
Náhradní díly (dovoz technikem):	3 845 PJ	3 845 PJ
Paušální poplatek za výjezd:	8 971 PJ	–
Vzdálená asistence 2,6 h:	–	3 332 PJ
Provoz MS Hololens 2,6 h:	–	8 125 PJ
DHL Express:	–	2 563 PJ
Celkem:	43 880 PJ	17 865 PJ

Tabulka 13 - Porovnání nákladů na opravu č. 3 se vzdálenou asistencí v polovičním rozsahu

Při třetí opravě při polovičním využití vzdálené asistence bylo ušetřeno oproti opravě externím servisním technikem celkem 26 015 PJ.

V tomto případě bylo při všech opravách z původní částky 180 439 PJ (částka za všechny opravy externím technikem) dohromady ušetřeno celkem 84 627 PJ. Při procentuálním vyjádření došlo tedy k úspoře 46,9%.

Celkové úspory při nasazení oprav se vzdálenou asistencí v rozšířené realitě při jejím částečném využití po dobu opravy:	
Peněžní vyjádření úspory U_{HLC} :	84 627 PJ
Procentuální vyjádření:	46,9 %

8.2.7. Výpočet návratnosti investice do zařízení Microsoft Hololens a zavedení vzdálené asistence v rozšířené realitě

Po vyčíslení nákladů na provoz zařízení Microsoft Hololens a po výpočtu snížení nákladů na opravy díky fiktivním opravám za pomoci vzdálené asistence v rozšířené realitě je ještě nutno vypočítat dobu návratnosti investice do této technologie.

Vzhledem k tomu, že doposud byly veškeré časové údaje uváděny v hodinách, bude doba návratnosti počítána v taktéž v hodinách. V této kapitole bude návratnost počítána jak pro variantu plného využití vzdálené asistence po celou dobu opravy, tak pro její využití jen v polovině času z celkové doby opravy.

Ještě před samotným výpočtem je nutno zrekapitulovat jednotlivé veličiny, které budou figurovat ve výpočtu návratnosti investice:

Pořizovací cena brýlí pro rozšířenou realitu Microsoft Hololens CN_{HL} :

$$CN_{HL} = 80\,299 \text{ PJ}$$

Náklady na proškolení personálu na práci s brýlemi pro rozšířenou realitu: CN_{PP} :

$$CN_{PP} = 5\,000 \text{ PJ}$$

Celková úspora při využití vzdálené asistence po celou dobu opravy U_{HL} :

$$U_{HL} = 66\,717 \text{ PJ}$$

Celková úspora při částečném využití vzdálené asistence po dobu opravy U_{HLC} :

$$U_{HLC} = 84\,627 \text{ PJ}$$

Celkový časový fond využití brýlí pro rozšířenou realitu při jejich využití po celou dobu opravy t_{as} :

$$t_{as} = 27,95 \text{ h}$$

Celkový časový fond využití brýlí pro rozšířenou realitu při jejich částečném využití v rámci opravy t_{asc} :

$$t_{asc} = 13,975 \text{ h}$$

Výpočet návratnosti investice do brýlí pro rozšířenou realitu Microsoft Hololens při jejich využití po celou dobu opravy TN_{FT} :

Dílčí výpočet úspory na jednu hodinu provozu U_{HFT} :

$$U_{HFT} = \frac{U_{HL}}{t_{as}} = \frac{66717}{27,95} = 2387 \text{ PJ}$$

Výpočet návratnosti:

$$TN_{FT} = \frac{CN_{HL} + CN_{PP}}{U_{HFT}} = \frac{80299 + 5000}{2387} = \frac{85299}{2387} = 35,73 \text{ h}$$

Z předchozích výpočtů vyplývá, že se investice do zařízení pro vzdálenou asistenci v rozšířené realitě Microsoft Hololens při jejich využití po celou dobu opravy vrátí za 35,73 hodin provozu tohoto zařízení. Avšak tato hodnota vychází z oprav provedených externím servisním technikem v roce 2018, které trvaly celkem 21,5 hodiny a bylo za ně celkem zapláceno 180 717 PJ.

Znamená to tedy, že návratnost 35,73 hodiny bude platit jen v případě, že budou ve dvou po sobě jdoucích letech řešeny, pomocí vzdálené asistence po celou dobu opravy, opravy, které by v případě řešení externím servisním technikem trvaly celkem 43 hodin a stály by celkem 361 434 PJ. Při splnění této podmínky je možno prohlásit, že doba návratnosti investice do zařízení Microsoft Hololens je 35,73 hodiny.

V případě, že by tato skutečnost nebyla splněna, je možno vypočítat poměrnou část návratnosti za fiktivní opravy z roku 2018. Vzhledem k tomu, že vypočítaná doba návratnosti je 35,73 hodiny a časový fond vzdálené asistence byl u fiktivních oprav při využití vzdálené asistence po celou dobu opravy v roce 2018 celkem 27,95 hodiny, je pomocí přímé úměry možno vypočítat poměrnou část návratnosti investice PTN_{FT} :

$$PTN_{FT} = \frac{t_{as}}{TN_{FT}} * 100 = \frac{27,95}{35,73} * 100 = 78,2\%$$

Při fiktivních opravách za pomoci vzdálené asistence v rozšířené realitě po celou dobu opravy se vrátilo 78,2% z celkové investice do zařízení Microsoft Hololens.

Výpočet návratnosti investice do brýlí pro rozšířenou realitu Microsoft Hololens při jejich využití jen po polovinu doby opravy TN_{PT} :

Dílčí výpočet úspory na jednu hodinu provozu U_{HPT} :

$$U_{PFT} = \frac{U_{HLC}}{t_{asc}} = \frac{84627}{13,975} = 6056 \text{ PJ}$$

Výpočet návratnosti:

$$TN_{PT} = \frac{CN_{HL} + CN_{PP}}{U_{HPT}} = \frac{80299 + 5000}{6056} = \frac{85299}{6056} = 14,09 \text{ h}$$

Při využití vzdálené asistence při polovině času z celkového času opravy bylo vypočítáno, že se investice do zařízení Microsoft Hololens vrátí za 14,09 hodiny. Tato hodnota není přesnou polovinou vypočítané návratnosti z předchozí části (35,73 hodiny) a to z jednoduchého důvodu. Při využití vzdálené asistence jen při polovině času z celkové doby opravy je ušetřena polovina výdajů spojená s platbou za vzdálenou asistenci.

Časový fond vzdálené asistence při jejím částečném využití v rámci opravy je 13,975 hodiny a výpočet poměrné části návratnosti PTN_{PT} je při návratnosti 14,09 hodiny následovný:

$$PTN_{FT} = \frac{t_{asc}}{TN_{PT}} * 100 = \frac{13,975}{14,09} * 100 = 99,1\%$$

Výsledek 99,1% znamená, že se při fiktivních opravách za pomoci vzdálené asistence v rozšířené realitě využíváné jen v polovině celkové doby opravy vrátilo 99,1% z celkové investice do zařízení Microsoft Hololens. Využívání vzdálené asistence jen pro dílčí postupy z celé opravy je tedy výrazně výhodnější.

9. Závěr

Cílem této práce bylo ověřit možnosti využití vzdálené asistence v rozšířené realitě a pokusit se implementovat tento druh vzdálené asistence do podniku. Nejprve bylo nutné zpracovat vlastní přehled, v současné době využívaných, druhů vzdálené asistence. Tyto druhy byly následně porovnány s novým druhem vzdálené asistence v rozšířené realitě.

K dalšímu postupu práce bylo nutné definovat pojem rozšířená realita. Na definici dále navazoval popis jejího využití a historie. Byly popsány způsoby, kterými se rozšířená realita využívá ke vzdálené asistenci a jaký hardware je k tomuto účelu vhodný.

Druhá část práce implementaci vzdálené asistence v rozšířené realitě do vybraného podniku. Po popisu podniku a problému, který bude řešen bylo navrženo vhodné řešení, které umožňuje tento druh vzdálené asistence. Zvoleným řešením bylo využití brýlí pro rozšířenou realitu od společnosti Microsoft s obchodním označením Hololens v kombinaci s asistenčním softwarem Dynamics 365 Remote Assist, který je také dodáván společností Microsoft.

Pro verifikaci vhodnosti navrhovaného řešení bylo nutno definovat požadavky vzdálené asistence v rozšířené realitě a ty následně otestovat jejich splnění v prostorách podniku. Vzdálená asistence v rozšířené realitě funguje na principu videohovoru a proto je nutné splnit stanovené požadavky na osvětlení pracovního prostoru a internetovou konektivitu. Další kritéria byla stanovena na základě požadavků samotného asistenčního hardwaru (brýlí Microsoft Hololens), kdy tyto brýle potřebují pro správnou funkčnost rozpoznávání 3D objektů a okolí určitou míru různorodosti prostředí.

Díky tomu, že byla všechna výše zmíněná kritéria splněna bylo možno přistoupit k poslední části této práce, kterou byla technologicko-ekonomická analýza. Tato analýza vycházela z dat oprav z roku 2018. Tyto opravy byly vyhotoveny zahraničním servisním střediskem, což s sebou přinášelo vysoké náklady na dopravu a ubytování, které by bylo možné ušetřit díky zavedení vhodné vzdálené asistence. Při porovnání možných úspor a provozních nákladů se vstupní investicí byla učena návratnost této investice.

10. Citovaná literatura

- [1] A. SCHLUETER, Jonathan, *Remote maintenance assistance using real-time augmented reality authoring*, 2018. [online]. [cit. 10.12.2018] Dostupné z: <https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=7464&context=etd>
- [2] HOOVER, Melynda, *An evaluation of the Microsoft HoloLens for a manufacturing-guided assembly task*. 2018. [online]. [cit. 10.12.2018]. Dostupné z: <https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=7385&context=etd>
- [3] P. CAUDELL, Thomas, W. MIZELL, David, *Augmented Reality: An Application of Head-Up Display Technology to Manual Manufacturing Process*, 1992. [online]. [cit. 13.12.2018] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/3510119_Augmented_reality_An_application_of_heads-up_display_technology_to_manual_manufacturing_processes
- [4] DEAL, Kevin, *Military MRO: Solving the maintenance skills shortage with augmented reality - Military Embedded Systems*. [online]. [cit. 13.12.2018]. Dostupné z: <http://mil-embedded.com/articles/military-skills-shortage-augmented-reality/>
- [5] PALMARINI, Riccardo, AHMETER KOYUNCU, John RAJKUMAR, Roy, HOSEIN, Torabmostaedi. 02/2018. *A systematic review of augmented reality applications in maintenance*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. Str. 215-228. [online]. [cit. 13.12.2018]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584517300686>
- [6] BORKO, Furth, *Handbook of Augmented Reality*, New York, NY: Springer, c2011. ISBN 978-1-4614-0063-9. [online]. [cit. 13.12.2018]. Dostupné z: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=fG8JUdrScsYC&oi=fnd&pg=PR3&dq=augmented+reality&ots=ieBaNAQ9_x&sig=PID2Vbln3bkgXAgmnVaka-P9XLE&redir_esc=y#v=onepage&q=augmented%20reality&f=false
- [7] M EVERETT, Sean, *The \$1 Trillion Augmented Reality Glasses*, 09/2016, [online]. [cit. 13.12.2019]. Dostupné z: <https://humanizing.tech/the-1-trillion-augmented-reality-glasses-9be613783fae>
- [8] Van KREVELEN, Rick, POELMAN, Ronald, *A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations*. ResearchGate [online]. [cit. 03.01.2019]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/279867852_A_Survey_of_Augmented_Reality_Technologies_Applications_and_Limitations

- [9] SEUNGJUN Kim, ANIND K. Dey, *Simulated Augmented Reality Windshield Displays as a Cognitive Mapping Aid for Elder Driver Navigation*. [online]. [cit. 08.01.2018] Dostupné z: <https://www.cin.ufpe.br/~lfol/TAI/Artigos/Simulated%20Augmented%20Reality%20Windshield%20Display.pdf>
- [10] SEUNGJUN Kim, ANIND K. Dey, *Using Animated Augmented Reality to Cognitively Guide Assembly*, Human-Computer Interaction Institute Boston. 2009. [online]. [cit. 10.01.2018] Dostupné z: <https://www.cin.ufpe.br/~lfol/TAI/Artigos/Simulated%20Augmented%20Reality%20Windshield%20Display.pdf>
- [11] J. HENDERSON, Steven, FEINER, Steven, *Evaluating the benefits of augmented reality for task localization in maintenance of an armored personnel carrier turret* - IEEE Conference Publication. DOI: 10.1109/ISMAR.2009.5336486. ISBN 978-1-4244-5390-0. [online]. [cit. 05.01.2019]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5336486>
- [12] HEIN, Treena, Canadian augmented reality tech takes CMMS to the next level [online]. [cit. 11.01.2019]. Dostupné z: <https://www.design-engineering.com/features/canadian-augmented-reality-tech-takes-cmms-to-the-next-level/>
- [13] Leopard Group, *The Corrosion Protection Specialist* [online]. [cit. 11.1.2019] Dostupné z: <http://leopardgroup.blogspot.com/2018/06/7-major-construction-technology.html>
- [14] H. BEHZADAN, Amir, VINEET R., Kamat, *Interactive Augmented Reality Visualization for Improved Damage Prevention and Maintenance of Underground Infrastructure*. 2009. [online]. [cit. 12.1.2019] Dostupné z: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41020%28339%29123>
- [15] FIORENTINO, Michele, UVA Antonio, E., GATTULLO, Michele, SAVERIO, Debernardis, MONNO, Giuseppe, *Augmented reality on large screen for interactive maintenance Instructions*. 2012. [online] [cit. 05.02.2019] Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361513002340>
- [16] Unity Technologies, *Publication Unity - Manual: HoloLens Spatial Mapping*. [online]. [cit. 06.04.2019]. Dostupné z: <https://docs.unity3d.com/Manual/SpatialMapping.html>
- [17] WESTERFIELD, Giles, *Intelligent Augmented Reality Training for Assembly and Maintenance*. 2012. [online]. [cit. 13.12.2018]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/35467605.pdf>

- [18] WAN KREVELEN, Rick, *A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations*, 06/2010, [online]. [cit. 14.12.2019]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/279867852_A_Survey_of_Augmented_Reality_Technologies_Applications_and_Limitations
- [19] HENDERSON, Steven J., FEINER Steven. *Evaluating the benefits of augmented reality for task localization in maintenance of an armored personnel carrier turret. 2009 8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality* [online]. IEEE, 2009, 2009, s. 135-144 [cit. 2019-05-27]. DOI: 10.1109/ISMAR.2009.5336486. ISBN 978-1-4244-5390-0. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5336486/>
- [20] VÉGHOVÁ Gabriela, *Usage of augmented and mixedreality for workers*, Brno, 2017. [online]. [Cit. 2.1.2019]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/awo77/thesis-final.pdf>

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Srovnání metod servisních úkonů pro řešení problémů.....	14
Tabulka 2 - Srovnání standardních druhů vzdálené podpory	17
Tabulka 3 - Položky a ceny z faktury za první servis výjezd	39
Tabulka 4 - Položky a ceny z faktury za druhý servisní výjezd	40
Tabulka 5 - Položky a ceny z faktury za třetí servisní výjezd	40
Tabulka 6 - Roční náklady spojené s provozem zařízení Microsoft Hololens	40
Tabulka 7 - Porovnání nákladů na opravu č. 1 se vzdálenou asistencí po celou dobu opravy	44
Tabulka 8 – Porovnání nákladů na opravu č.2 se vzdálenou asistencí po celou dobu opravy	45
Tabulka 9 - Porovnání nákladů na opravu č. 3 se vzdálenou asistencí po celou dobu opravy	46
Tabulka 10 - Vyčíslení celkových úspor při opravách plně využívajících vzdálenou asistenci v rozšířené realitě.....	46
Tabulka 11 - Porovnání nákladů na opravu č. 1 se vzdálenou asistencí v polovičním rozsahu	47
Tabulka 12 - Porovnání nákladů na opravu č. 2 se vzdálenou asistencí v polovičním rozsahu	48
Tabulka 13 - Porovnání nákladů na opravu č. 3 se vzdálenou asistencí v polovičním rozsahu	49

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Ukázka rozšířené reality [4]	16
Obrázek 2 - Ukázka rozšíření reality [5].....	18
Obrázek 4 – Ukázka ze studie rozšířené reality od společnosti Boeing	20
Obrázek 5 – Ukázka využití AR v leteckém průmyslu [12].....	25
Obrázek 6 – Ukázka využití AR asistence v automobilovém průmyslu [14].....	26
Obrázek 7 – Ukázka plánovaného využití AR ve vojenství	27
Obrázek 11 – Ukázka využití Hand-held zařízení při AR asistenci [2].....	29
Obrázek 12 – Ukázka AR asistence s využitím projektoru [15].....	30
Obrázek 13 - Ukázka skenu pomocí trojúhelníkové sítě [16].....	36
Obrázek 14 - Ukázka z testování internetové konektivity	37
Obrázek 15 - Testování přesnosti 3 skenování přesnosti 3D skenování	Obrázek 16 - Testování 38