

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Realizace a validace virtuálních návodek

Autor: **Bc. Štěpán ANDĚL**

Vedoucí práce: **Ing. Petr Hořejší, Ph. D.**

Akademický rok 2017/2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Štěpán ANDĚL**

Osobní číslo: **S16N0078P**

Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Průmyslové inženýrství a management**

Název tématu: **Realizace a validace virtuálních návodků**

Zadávací katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod
2. Analýza současného stavu
3. Realizace virtuální návodky
4. Validace virtuální návodky
5. Porovnání výsledků
6. Závěr

Rozsah grafických prací: **0 výkresů**
Rozsah kvalifikační práce: **50 - 70 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. GÖRNER, T., HOŘEJŠÍ, P., KURKIN, O. *Virtuální realita a DP, e book*. Plzeň: SmartMotion, 2012. ISBN 978-80-87539-07-1
2. BLACKMAN, S. *Beginning 3D Game Development with Unity 4*. New York: Springer Science+Business Media, 2013. ISBN 978-1-4302-3422-7
3. LINOWES, J. *Unity Virtual Reality Projects*. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2015. ISBN 978-1-178398-855-6
4. LAVIERI, E. *Getting Started with Unity 5*. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2015. ISBN 978-1-78439-831-6

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Hořejší, Ph.D.**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu
Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Polcar**
Úsek prorektora pro studijní a pedagogickou činnost

Datum zadání diplomové práce: **20. září 2017**
Termín odevzdání diplomové práce: **21. května 2018**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

L.S.



Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 20. září 2017

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Mé poděkování patří Ing. Petru Hořejšímu, Ph. D. za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování diplomové práce věnoval.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Anděl	Jméno Štěpán		
STUDIJNÍ OBOR	2301T007 - Průmyslové inženýrství a management			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Hořejší, Ph. D.	Jméno Petr		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KPV			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Realizace a validace virtuálních návodek			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	78	TEXTOVÁ ČÁST	60	GRAFICKÁ ČÁST	4
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Práce se zabývá využíváním virtuální a rozšířené reality k montážním pracím v průmyslových podnicích. Jejím cílem je naměřit časové údaje kompletace součástky podle vytvořené virtuální návodky a získané údaje pak porovnat s již naměřenými hodnotami montáže stejné součástky podle papírové návodky a virtuální návodky bez osvětlení pozic. Z těchto variant bude vybrána jedna, která bude dosahovat nejlepších časů kompletace.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Virtuální realita, rozšířená realita, montážní návodka, Unity 3D

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Anděl	Name Štěpán	
FIELD OF STUDY	2301T007 – Industrial Engineering and Management		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Hořejší, Ph. D.	Name Petr	
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Implementation and validation of virtual instructions		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	78	TEXT PART	60	GRAPHICAL PART	4
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The thesis deals with the use of virtual and augmented realities for assembly works in industrial companies. The aim of this thesis is to create virtual instructions for an assembly of parts into the finished product. The group of people will be time-measured during their assembly. Their times will be compared with other assembly times according to classic paper manuals and virtual instructions without positions lighting. One from these variants will be chosen as the best solution.
KEY WORDS	Virtual reality, augmented reality, assembly instructions, Unity 3D

Obsah

Seznam použitých zkratk.....	10
Úvod.....	11
1. Reality mezi námi.....	12
1.1 Skutečné prostředí a Virtuální realita	12
1.2 Smíšená realita.....	12
1.3 Shrnutí	15
2. Hardwarové prostředky pro AR a VR.....	16
2.1 Prostorová AR	16
2.1.1 Shaderové lampy	17
2.1.2 Virtuální stoly.....	17
2.1.3 Mobilní a chytré projektory.....	17
2.2 Průhledová AR (See-through)	18
2.2.1 Optical see-through displays	18
2.2.2 Video see-through displays	20
2.3 Polo-ponožující VR.....	22
2.3.1 Simulátor létání	22
2.4 Ponožující VR.....	22
2.4.1 Náhlavní displeje pro PC a herní konzole	23
2.4.2 Náhlavní displeje pro mobilní zařízení	24
3. Virtuální návodky v praxi	25
3.1 Návodky v automobilovém průmyslu	25
3.1.1 Hyundai	25
3.1.2 BMW	27
3.1.3 Volkswagen	28
3.1.4 Volvo.....	28
3.1.5 BOSCH.....	29
3.2 Letecký průmysl	30
3.2.1 Boeing	30
3.2.2 Airbus	30
3.3 Další průmyslová odvětví.....	31
3.3.1 Scope AR.....	31
3.3.2 Gravity Jack.....	32
4. Software k tvorbě virtuální návodky	33

4.1	Unity 3D	33
4.2	Prostředí Virtual Assembly Manual	35
5.	Tvorba vlastní návodky	38
6.	Výchozí studie naměřených dat z roku 2017	41
6.1	Data získaná z montáže dle papírové návodky.....	41
6.2	Data získaná z montáže dle virtuální návodky	42
6.3	Doporučení pro rozšíření virtuální návodky.....	43
7.	Montážní pracoviště pro testování návodky.....	44
8.	Metodika testování návodky	45
9.	Testování vlastní virtuální návodky	47
9.1	Měření číslo jedna	47
9.2	Měření číslo dva	50
9.3	Shrnutí naměřených dat	62
10.	Rozšíření virtuální návodky	65
11.	Vyhodnocení návodek.....	67
11.1	Srovnání s papírovou návodkou.....	67
11.2	Srovnání s virtuální návodkou bez osvětlení pozic.....	68
11.3	Srovnání s video návodkou	69
	Závěr.....	70
	Seznam použité literatury	71
	Seznam obrázků	78
	Seznam grafů.....	80
	Seznam tabulek	81
	Přílohy	82

Seznam použitých zkratk

2D = dvoudimenzionální

3D = trojdimenzionální

AR = Augmented Reality, rozšířená realita

AV = Augmented Virtuality, rozšířená virtualita

DVI = Digital Visual Interface, rozhraní pro propojení videozařízení s počítačem

GPS = globální polohovací systém

KLT = nosič malých nákladů

LED = Light-Emitting Diode, světelná dioda

MARTA = Technická asistence pro mobilní rozšířenou realitu

MR = Mixed Reality, smíšená realita

OLED = Organic light-emitting diode, technologii organických elektroluminiscenčních diod

OS = operační systém

PC = osobní počítač

PS4 = operační systém Playstation 4

QR = Quick Response (kód rychlé odezvy)

RAM = random-access memory, počítačová paměť

SW = software

USB = Universal Serial Bus, univerzální sériová sběrnice, připojení k počítači

VR = Virtual Reality, virtuální realita

ZČU = Západočeská univerzita v Plzni

Úvod

Průmysl v lidském období prošel třemi převratnými obdobími, která společnost nazývá průmyslovými revolucemi. První průmyslová revoluce je spojena s vynálezem parního stroje, který zásadně v 18. století přetvořil všechny obory hospodářství a přinesl nový zdroj energie. Koncem 19. století dochází k elektrifikaci fabrik a masové výrobě, především zapříčiněné vznikem montážních linek. Nový způsob výroby je považován za druhou průmyslovou revoluci. S třetí revolucí se lidstvo setkalo v druhé polovině 20. století a je spojována s rozvojem automatizace, elektrotechniky a informačních technologií.

Dnes stojíme na prahu nové čtvrté průmyslové revoluce, která je charakterizována masovým rozšířením internetu, trendem digitalizace a využitím kyberneticko-fyzikálních systémů v podnicích. Základní vize čtvrté revoluce se objevily již v roce 2011, avšak oficiální dokument a vysvětlení myšlenky v čem ona revoluce tkví, byly představeny na německém veletrhu v Hannoveru v roce 2013. V rámci revoluce by měly vzniknout tzv. „chytré továrny,“ které budou využívat kyberneticko-fyzikální systémy, vykonávající za lidí jednoduché a opakující se činnosti.

V takovýchto továrnách budou aplikovány nové technologie a trendy, jako je například v současné době rozšířená realita a s ní spojené využití ve virtuálních návodkách. Řada podniků se dnes začíná připravovat na užití virtuálních návodků v praxi. Přínos virtuálních návodků je bezesporu ve vizualizaci montážního postupu, lepším a rychlejším pochopení postupu, zvýšení kvality výrobků a zamezení chybovosti při montáži a zrychlení výrobního procesu. Virtuální návodky by tak v rámci digitalizace v podnicích a rozvojem čtvrté průmyslové revoluce, mohly během několika let zcela nahradit papírové pracovní postupy.

Cíle diplomové práce na téma Realizace a validace virtuálních návodků jsou:

- 1) Seznámení se technologiemi virtuální a rozšířené reality včetně hardwarových prostředků pro jejich zobrazení.
- 2) Vytvoření přehledu ukázek použitých virtuálních návodků v praxi.
- 3) Studie předešlé diplomové práce, na jejíž výsledky se bude navazovat.
- 4) Vytvoření virtuální montážní návodky pro sifon A441P.
- 5) Stanovení metodiky testování virtuální návodky.
- 6) Testování návodky na skupině vybraných studentů ZČU.
- 7) Seskupení všech naměřených dat a jejich vyhodnocení.

1. Reality mezi námi

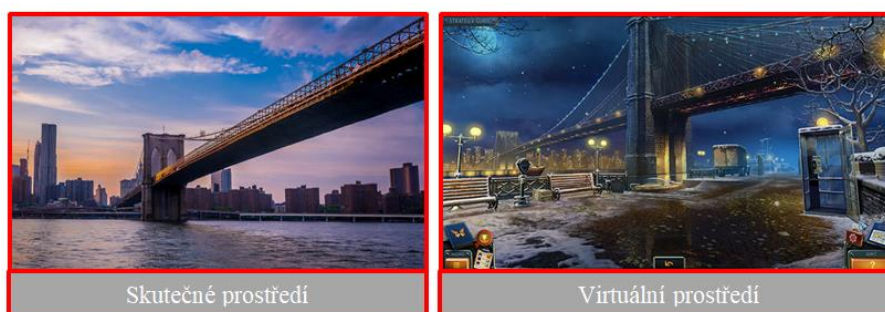
Realita, neboli česky také skutečnost, je pojem, který říká, že něco skutečně existuje na rozdíl od našich plánů, představ a iluzí. Každý člověk ale může mít trochu jinou představu o tom, co je a co není skutečné. Širší definice tohoto pojmu říká: že reálné je vše, co existovalo, existuje a existovat bude [1].

Řada moderních technologií se dnes snaží změnit způsob, jakým vnímáme naši realitu. Tyto technologie buď vtáhnou člověka do zcela nového virtuálního prostředí či se snaží stávající skutečné prostředí rozšířit o jiné virtuální předměty, prvky a informace.

1.1 Skutečné prostředí a Virtuální realita

V zásadě tedy máme dvě základní reality: skutečnou realitu a virtuální viz Obrázek 1.1. Skutečná realita, jak již bylo řečeno, je realita, kterou člověk vnímá jako skutečnou. Je to realita přirozeného prostředí zahrnující všechny živé a neživé věci, které se na naší Zemi přirozeně vyskytují [2].

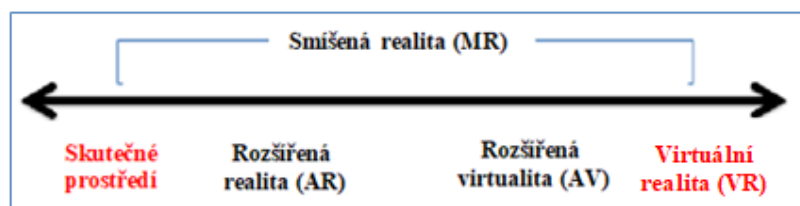
Naproti tomu je virtuální realita, anglicky Virtual Reality (VR), která se snaží poskytnout uživateli co největší úroveň ponoření do umělého prostředí. Toto počítačem vytvořené prostředí může, či nemusí napodobovat vlastnosti skutečného prostředí. Celkové ponoření uživatele do VR vyžaduje stimulaci všech jeho smyslů na virtuální prostředí, do té míry, že mozek přijímá virtuální prostředí jako skutečné [2].



Obrázek 1.1: Pohledy na skutečné a virtuální prostředí [o1] a [o2]

1.2 Smíšená realita

Smíšená realita, anglicky ji můžeme najít pod pojmy Mixed Reality (MR) či Hybrid Reality, je oblast realit, kdy se skutečné a virtuální světy spojí a fyzické i digitální objekty z obou dvou realit spolu vzájemně koexistují a pracují v reálném čase. Oblast smíšené reality zahrnuje celou řadu realit, z nich nejvíce známé a dnes definované jsou: Rozšířená realita či anglicky Augmented Reality (AR) a Rozšířená nebo zvýšená virtualita, jinak také známá Augmented Virtuality (AV). Oblast smíšené reality je znázorněna v Milgram-Kishinově diagramu na Obrázku 1.2 [3].



Obrázek 1.2: Zařazení smíšené reality dle P. Milgrama a F. Kishina z roku 1994 [o3]

Rozšířená realita, jak už sám název napovídá, rozšiřuje skutečné přirozené prostředí o prvky virtuálního světa. Uživatel tak tato technologie zlepšuje věci, které vidí, slyší a cítí. Na rozdíl od virtuální reality, která vyžaduje, abychom obývali zcela virtuální prostředí, rozšířená realita využívá existující přirozené prostředí a to jednoduše překrývá virtuálními informacemi a objekty na vrcholu. Vzhledem k tomu, že jak virtuální, tak reálný svět harmonicky koexistují, mohou tak uživatelé rozšířené reality vnímat a prožívat vylepšený svět, kde virtuální informace usnadňují a urychlují jejich každodenní činnosti [4].

Vše co k vnímání rozšířené reality uživatel potřebuje, jsou jen poloprůhledné brýle nebo chytrý mobilní telefon. Do skel poloprůhledných brýlí či displeje mobilního telefonu snímajícího kamerou okolní svět se zobrazují softwarem nadefinované virtuální prvky.

Existuje celá řada definic, co přesně je a není rozšířená realita. Vědci napříč technickým odvětvím dnes převážně uznávají definici od Ronalda T. Azumi. Ten nyní v roce 2017 pracuje jako technický expert Intelu v oblasti AR. Dle jeho definice lze pojem rozšířená realita vymezit jako systém, který má tři následující vlastnosti:

- Kombinuje virtuální a reálné prostředí
- Je interaktivní v reálném čase
- Je registrován ve 3D [5]

Poslední bod říká, že za rozšířenou realitu lze považovat pouze takovou realitu, kde vložené virtuální objekty jsou bezproblémově smíšené s reálným prostředím ve 3D. Pokud jsou do reálného prostředí snímaného kamerou přidány dvojrozměrné virtuální objekty, jako jsou popisy obsahující informace, nedochází k dokonalým překryvům objektů se skutečným světem ve 3D a nejedná se tudíž o AR. Rozšířená realita tedy nezahrnuje například filmové nebo dvourozměrné překryvy. Na Obrázku 1.3 jsou ukázány rozdíly mezi 2D a 3D přeryvy.



Obrázek 1.3: Překryvy v AR [o4] a [o5]

Rozšířená realita, jak bylo zmíněno na předešlé stránce, přenáší objekty z virtuálního světa do reálného světa. Rozšířená virtualita tvoří pravý opak rozšířené reality. Přenáší objekty z reálného světa do počítačem generovaného virtuálního prostředí. Dochází tedy k zvýšení virtuálnosti, proto se této realitě také občas říká v češtině zvýšená virtualita.

Se zvětšenou virtuálností (AV) mohou být stimulovány i jiné senzory, jako je koordinace nebo vůně, obvykle s využitím reálného světa pro doplnění virtuálního zážitku. Vůně slané vody, kouř hořícího dřeva či vítr může být přidán do místnosti, která může dále přesvědčit váš mozek, že prostředí virtuální reality je autentické. S tímto efektem se dnes můžeme setkat například v kině při sledování filmu IMAX a ve vícerozměrných kinech, jak je ukázáno na Obrázku 1.4. Na diváky jsou při sledování pouštěny vůně a případně natáčeny sedačky při jízdě autem, pro zvětšení zážitku ze sledovaného filmu [6].



Obrázek 1.4: Ukázka rozšířené virtuality v 5D kině [o6]

Dalším příkladem rozšířené virtuality může být herní konzole NintendoWii. Hráč drží při hraní ruční ovladače, které přenášejí pohyby jeho těla na postavu ve virtuálním prostředí. Při hraní her s náhlavním displejem je hráč omezen, když nevidí, co se děje v jeho okolí. Technologie rozšířené virtuality umožňují přenesení věcí, jako například klávesnice či rukou uživatele do her. Hráč následně může používat ruce ve virtuálním světě a ponoření do virtuality se jeví více autentické. Ukázky užití rozšířené virtuality jsou znázorněny na Obrázku 1.5.



Obrázek 1.5: Další ukázky AV[o7] a [o8]

1.3 Shrnutí

Reality můžeme rozdělit na dvě základní: virtuální, která je uměle vytvořená a skutečnou, tu ve které se pohybujeme a žijeme. Všechny reality mezi těmito dvěma jsou smíšené, jelikož dochází k míchání oněch dvou realit, z nichž je vždy jedna dominantní. Pokud do dominantní skutečné reality přidáváme prvky virtuální, tak se jedná o rozšířenou realitu. Naopak pokud do dominantní virtuální reality přidáváme prvky a objekty ze skutečné reality, pak mluvíme o rozšířené virtualitě. Rozdíly těchto realit jsou patrné z Obrázku 1.6, kde se nachází robotická ruka uskladňující plastové krabičky s materiály.



Obrázek 1.6: Rozdíly jednotlivých realit [09]

V roce 2016 se objevil nový pojem reality, tzv. X realita nebo také jinak proměnná realita. Tento termín má zahrnovat veškerou digitální realitu, tedy MX, AR a VR. X realita je dalekosáhlý, inkluzivní a flexibilní termín, kdy "X" představuje proměnnou, která není plně známá nebo specifikovaná. V současnosti tento termín reality není moc používaný a vědci se spíše přou o to, zda ho začít používat. Při uznání tohoto termínu pak dojde i ke změně Milgramova rozdělení realit z roku 1994 viz Obrázek 1.2.

2. Hardwarové prostředky pro AR a VR

K vnímání jiné reality, tedy AR a VR, jsou zapotřebí hardwarové prostředky, které umožní našemu zraku vnímat softwarově vytvořené objekty. S rostoucím zájmem o MR a trendem digitalizace se pomalu začínají na trhu objevovat nové a nové hardwarové prostředky umožňující vnímat jinou realitu. Řada společností se snaží vyvinout vlastní řešení náhlavních displejů, buď pro vlastní interní použití, nebo pro použití širší veřejnosti.

V zásadě ale máme čtyři velké oblasti technologií pomáhající vidět uživateli jinou realitu. Rozdělit technologie můžeme na: prostorovou AR, průhledovou AR, částečně ponořující VR a ponořující VR. Na Obrázku 2.1 jsou vidět technologie zařazené do realit v Milgramově a Kishinově diagramu. Jejich podrobnější funkčnost a konkrétní příklady hardwarových prostředků na trhu jsou popsány v následujících podkapitolách 2.1 až 2.4.



Obrázek 2.1: Technologie zobrazení AR a VR [o10]

2.1 Prostorová AR

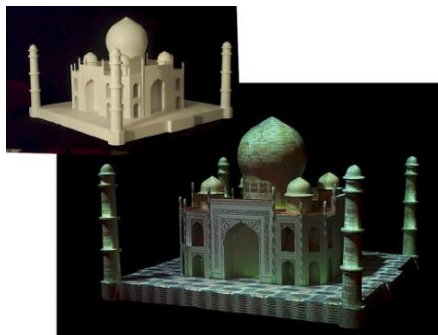
Prostorová rozšířená realita, v angličtině spatial AR, je technologie, která rozšiřuje objekty a scény v reálném světě bez použití speciálních displejů, monitorů, náhlavních displejů či ručních zařízení. K zobrazení digitálních informací na fyzických objektech používá speciální digitální projektory.

Klíčový rozdíl prostorové rozšířené reality od ostatních technologií je v tom, že displej je oddělen od uživatele systému. Uživatel tedy na sobě nemá žádné zařízení obsahující displej, kde by se zobrazovaly virtuální objekty. Obecně platí, že prostorové displeje oddělují technologii zobrazení od uživatele a integrují ji více do prostředí. Z tohoto důvodu se nazývá tato technologická variace prostorová rozšířená realita [7].

Mezi její příklady patří shaderové lampy, virtuální stoly, mobilní a chytré projektory.

2.1.1 Shaderové lampy

Shaderové lampy či projektory jsou zařízení, která promítají snímky na neutrální objekty a vylepšují tak jejich vzhledovou stránku. Objekty, na které se promítají snímky, mohou být statické nebo pohyblivé. Metoda byla vynalezena v roce 1999 na Univerzitě Severní Karolíny. Ukázkou Shaderové lampy můžeme vidět na Obrázku 2.2 [7].



Obrázek 2.2: Příklad promítání snímků Shaderovou lampou [o11]

2.1.2 Virtuální stoly

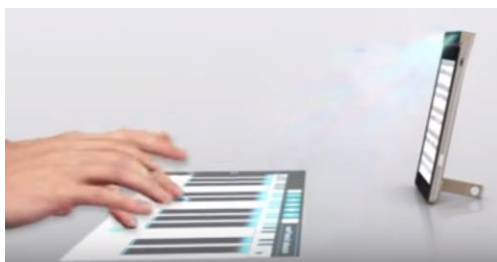
Projekce na stoly a stěny je technologie, kdy se na stůl či stěnu promítají virtuální obrazy z projektoru, většinou zavěšeném na stropu. Tyto promítané obrazy mohou být interaktivní, tedy reagují na umístění předmětů či rukou do určitého prostoru. Po setrvání určitého času v tomto prostoru se provede daná naprogramovaná reakce, jako například načtení jiného obrazu. Na Obrázku 2.3 je znázorněn vzhled jednoho z možných promítacích stolů [7].



Obrázek 2.3: Příklad promítání na stůl [o12]

2.1.3 Mobilní a chytré projektory

Chytré mobilní telefony už dnes dokáží přenášet dotykovou obrazovku na jakýkoliv povrch. Příkladem může být mobilní telefon od Lenovo Smart Cast, který má v sobě zabudovaný laserový projektor, který dokáže promítat obrazy v jakémkoli úhlu, hloubce nebo rovině a získat stejný ostrý obraz. Smart Cast umožňuje uživatelům používat projektor pro prezentace, pro psaní, kdy promítá interaktivní klávesnici na povrch, jako klavír či herní obrazovku, jak je možné vidět na Obrázku 2.4 [8].



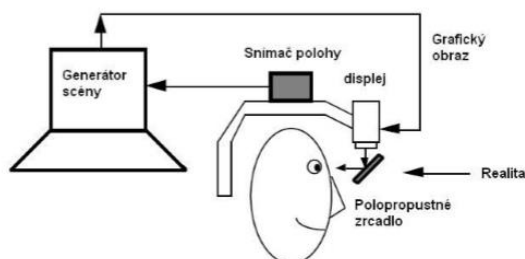
Obrázek 2.4: Projektor na mobilním zařízení Lenovo Smart Cast [o13]

2.2 Průhledová AR (See-through)

Jedná se o technologii, kdy si uživatel nasadí speciální náhlavní displej či poloprůhledné brýle, do kterých jsou mu promítány počítačem generované objekty. Tudiž, na rozdíl od prostorové AR, má uživatel nasazen speciální displej, který mu umožňuje vnímat rozšířenou realitu. Průhledová technologie používá dva základní hardwarové prostředky s rozdílnými displeji, na kterých se zobrazují objekty. Jsou to: optický průhledový displej, anglicky jinak **optical see-through display**, a video průhledový displej, anglicky **video see-through display**.

2.2.1 Optical see-through displays

Uživatel má na hlavě nasazené speciální brýle s průhledným displejem, který umožňuje vnímání skutečného prostředí. V průhledném displeji dochází ke kombinaci digitálního obrazu se skutečným světem. Ze skutečného světa už uživatel dostává světelné paprsky, které jeho oko zaznamenává a uživatel tak vidí prostředí kolem sebe. Z digitálního světa ovšem žádné paprsky nevyzařují, tudíž se musí vytvořit umělé světlo, většinou na bázi LED osvětlení, které se přeměruje na displej. Optické zařízení, které kombinuje tento generovaný obraz počítače se skutečným světem, se nazývá kombinátor. V podstatě kombinátor funguje jako částečné zrcadlo, které přeměruje světlo displeje a zároveň dovoluje průchod světelných paprsků z reálného světa. Brýle většinou ještě obsahují polohový senzor, který snímá směr pohledu uživatele a polohu jeho hlavy. Na Obrázku 2.5 je znázorněno schéma popisující funkčnost optického průhledového displeje [9].



Obrázek 2.5: Schéma optical see-through [o14]

Dnes máme širokou škálu optických průhledných brýlí a náhlavních displejů, ale všechny v zásadě kombinují tyto věci: rozlišení, zorné pole, kvalitu obrazu, hmotnost hardwaru a další. Všechny tyto věci ale zatím nelze zajistit, tudíž je na trhu řada hardwarů upřednostňující určité věci či vlastnosti na úkor jiných.

Příkladem průhledných brýlí mohou být tzv. Google glass, které se v roce 2017 vrátily na trh. Brýle disponují vylepšenou výdrží baterie, která dříve vydržela zhruba 5 hodin, dále 5 MPx fotoaparát, rychlejší procesorem a Wi-fi. Jejich výhodou jsou malé a lehké provedení a cenová dostupnost kolem 500 až 700 \$. Nevýhodami jsou omezené zorné pole pouze 13° a nízký rozsah displeje. Brýle jsou v binokulární, tedy mají dvě průhledná sklíčka, jak můžete vidět na Obrázku 2.6 [10].



Obrázek 2.6: Poloprůhledné brýle Google glass [o15]

Oproti tomu jsou na trhu například monokulární brýle Vuzix M3000, které mají pouze jedno průhledné sklíčko, viz Obrázek 2.7. Jejich výhodou je, že se uživatel může více soustředit na úkol, který máte k dispozici, na rozdíl od brýlí binokulárních. Brýle mají displej DLP WVGA, 13 MPx kameru, 2 GB RAM, interní paměť až 64 GB, zorné pole 20°, jsou kompatibilní s iOS a Androidem a jejich baterie má kapacitu 160mAh. Jejich cena se pohybuje kolem 1 700\$ [11].



Obrázek 2.7: Poloprůhledné brýle Vuzix M3000 [o16]

Moderním příkladem polosférického kombinátoru, kdy se odráží obraz z displeje do průhledného skla náhlavního displeje, je Meta 2 znázorněná na Obrázku 2.8. Na rozdíl od jiných druhů malých a lehkých brýlí, Meta 2 šla druhým směrem ve prospěch větších zorného pole a rozlišení displeje. Brýle obsahují jediný plochý panel OLED pro podporu téměř 90° zorného pole a rozlišení displeje 2560x1440 pixelů rozdělených mezi oběma očima. Oproti tomu je ale náhlavní displej objemnější a má nízké úhlové rozlišení. Náhlavní displej lze pořídit za relativně dostupnou cenu 900 \$ [9].



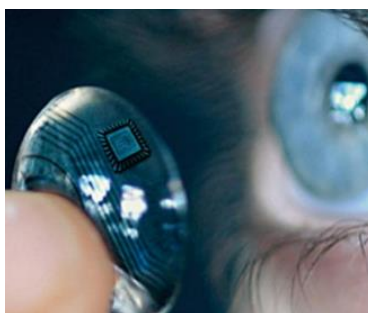
Obrázek 2.8: Náhlavní displej Meta 2 [o17]

Náhlavní displej HoloLens od společnosti Microsoft byl uveden na trh v roce 2015. Zařízení dokáže samo navrhnout hologramy a ty překrýt s objekty či místy. Jedná se tedy o jakýsi samostatný holografický počítač, který pracuje naprosto sám bez jakéhokoliv kabelového či bezdrátového propojení s počítačem. To je výhodou pro příjemný a neomezený pohyb po scéně. Oproti tomu je zařízení těžší než jiné displeje. Jeho váha se pohybuje kolem 0,5 kg. Zařízení pohání vlastní procesor Intel, který je doplněn o 2 GB operační paměť a vnitřní úložiště 64 GB. Před očima uživatele jsou umístěny dva holografické displeje o rozlišení 2,3 MPx. Zorný úhel brýlí je menší než 40°, a tak se hologramy vykreslují jen v polovině prostoru, který vnímají oči. Výdrž baterie se pohybuje kolem 3,5 hodin, což není zrovna mnoho. I tak se ale jedná o zcela nové a originální řešení mezi náhlavními displeji. Vzhled náhlavního displeje je ukázán na Obrázku 2.9. Cena zařízení se pohybuje kolem 3 000 \$ [12].



Obrázek 2.9: Náhlavní displej HoloLens [o18]

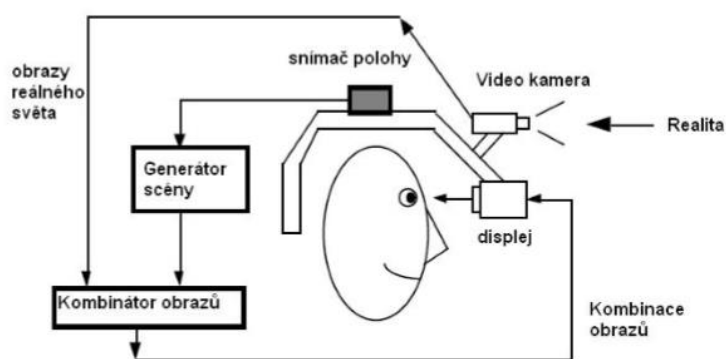
Další krok, kam by se vývoj těchto hardwarových prostředků k zobrazení AR mohl vydat, jsou kontaktní čočky znázorněné na Obrázku 2.10. Společnost Samsung si v roce 2016 podala patent na nahrávací zařízení pro kontaktní čočky a tak udala rychlost k vyvinutí nové technologie. Patentované zařízení bylo schopné zaznamenávat a zobrazovat snímky pomocí připojení k mobilnímu telefonu. O něco blíže čočkám zobrazující AR se přiblížila společnost Sony, která si za několik měsíců po patentu Samsungu nechala patentovat vlastní kontaktní čočky. Ty pořizují fotky a video, které mohou i zobrazovat. Oproti čočkám Samsungu, čočky od Sony ukládají pořizené snímky přímo do čočky. Proto tento patent se už velmi přibližuje k čočkám, které budou v blízké budoucnosti zobrazovat rozšířenou realitu [13].



Obrázek 2.10: Kontaktní čočky pro AR [o19]

2.2.2 Video see-through displays

U této technologie má uživatel na sobě nasazen náhlavní displej, který není průhledný a nelze tak pozorovat reálné prostředí. Obraz z reálného světa musí být u této technologie zachycován malou videokamerou umístěnou na náhlavním displeji. Poté dojde ke zkombinování zachyceného snímku videokamerou a softwarem vytvořeným syntetickým obrazem a výsledný obraz je promítnut uživateli do displeje. Náhlavní zařízení opět obsahuje polohový senzor k snímání směru pohledu uživatele a polohy jeho hlavy. Na Obrázku 2.11 je znázorněno schéma popisující funkčnost video průhledového displeje.



Obrázek 2.11: Schéma video see-through [o20]

Ve srovnání s optickými průhlednými brýlemi nabízejí video náhlavní zařízení bezproblémovou integraci skutečného a umělého světa. Displeje u náhlavních zařízení jsou větší, tudíž uživatel má větší zorný úhel. Oproti tomu nevýhodami jsou větší hmotnost náhlavního displeje, pomalejší rychlost zpracování dat a nemožnost vidět skrz displej. Přesto se dnes na trhu prodává řada těchto náhlavních zařízení, i když v menší míře než průhledné brýle.

Příkladem video průhledového náhlavního displeje je například zařízení SXGA61-3D od společnosti Trivisio, viz Obrázek 2.12. Náhlavní displej má dvě video kamery umístěné v poloze očí, které přenášejí obraz skutečného světa do dvou displejů s rozlišením 1280 x 1024 pixelů. Zorný úhel je 43 až 45° a váha zařízení přibližně 240 gramů. Cena náhlavního displeje se pohybuje kolem 6 000 \$ [14].



Obrázek 2.12: Náhlavní displej Trivisio SXGA61-3D [o21]

Jiný náhlavní displej Visette 45 SXGA, viz Obrázek 2.13, disponuje opět dvěma kamerami, které přenášejí obraz na displej o rozlišení 1280x1024 pixelů. Zorný úhel náhlavního displeje je 45°, aktivní obraz má 0,88 palců a barevná hloubka je 24 bitů. Cena displeje se pohybuje kolem 11 250 \$ [15].



Obrázek 2.13: Náhlavní displej Visette 45 SXGA [o22]

Náhlavní displej zSight-1920 má díky dvěma vychýleným mikro-HDMI kamerám mnohem větší zorný úhel až 72° a nižší zkreslení. Rozlišení dvou displejů je 1920 × 1080 pixelů. Zařízení je podporováno programem OSVR, který obsahuje pluginy pro Unity, Unreal a mnoho dalších herních strojů. Váha náhlavního displeje je přibližně 350 gramů a stojí přibližně 20 000 \$. Vzhled displeje je zobrazen na Obrázku 2.14 [16].



Obrázek 2.14: Náhlavní displej zSight-1920 [o23]

2.3 Polo-ponořující VR

Jedná se o poměrně novou implementaci technologie virtuální reality a technologie vyvinuté pro letecké a vesmírné simulace. Uživatel se nachází uvnitř určitého prostředí nebo místnosti. Proti sobě má většinou plátno či velký displej, na který jsou mu promítány situace z virtuální reality. Uživatel je tak částečně vtažen do toho prostředí.

Polo-ponořující systémy se většinou skládají z výpočetního grafického systému o vysokém výkonu, který může být spojen s velkým monitorem, s velkým plátnem s projektořem či více televizních projekčních systémů. V následující podkapitole 2.3.1 je představen příklad zařízení, které navazuje u uživatelů pocit částečného ponoření do světa VR [17].

2.3.1 Simulátor létání

Společnost Flightdeck Solutions v roce 2013 představila svůj simulátor létání JetMax, který je cenově dostupný i pro širší veřejnost. JetMax je navržen tak, aby plně ponořil uživatele do simulačního zážitku z řízení letadla. K simulátoru JetMax přísluší kopulový displej Cobra, který ještě umocňuje opravdovost z létání. Letecký simulátor i s kopulovým displejem je znázorněn na Obrázku 2.15 [18].



Obrázek 2.15: Letecký simulátor JetMax [o24]

2.4 Ponořující VR

Je technologie, která doslova vtáhne uživatele do umělého prostředí. Jeho základní smysly, jako především zrak a sluch jsou ošáleny do takové míry, že uživatel vnímá umělé prostředí za skutečné. Hardwarovými prostředky k oblouznění těchto dvou smyslů jsou hlavně náhlavní displeje pro virtuální realitu. Většinou je však najdeme pod anglickou zkratkou HMD, neboli Head mounted display. Tato zařízení, podobně jako náhlavní displeje pro AR, obsahují displej, kam se promítá umělý svět vytvořený softwarem. Náhlavní displeje pro virtuální realitu už nepotřebují, aby uživatel vnímal skutečný svět, tudíž už zde většinou není zapotřebí videokamera. Naopak jsou zde zabudovaná sluchátka pro vnímání zvukových efektů umělého světa.

V zásadě můžeme rozdělit náhlavní displeje pro virtuální realitu do dvou skupin, a to na: náhlavní displeje pro konzole a PC a náhlavní displeje pro mobilní zařízení. Přehled částí těchto zařízení, které se v současnosti nabízejí na trhu, je popsán v podkapitolách 2.4.1 a 2.4.2.

2.4.1 Náhlavní displeje pro PC a herní konzole

Tato náhlavní zařízení, jak již bylo napsáno v předešlé kapitole 2.4, jsou dost podobná náhlavním displejům pro AR. Základ náhlavního zařízení tvoří displej s patřičným rozlišením, kam se promítají podobně jako na monitor PC softwarem generované obrazy. Náhlavní displej je většinou propojen s PC přes kabel s USB portem. Značnou komplikací pro uživatele je, že zařízení ve většině případů lze připojit pouze k PC nebo pouze k herní konzoli, kterou může být například playstation. Uživatel si tudíž před koupí přístroje musí rozmyslet, k jakému zařízení bude náhlavní displej používat. Cena těchto zařízení je většinou nižší než u náhlavních displejů pro AR.

Náhlavní souprava Oculus Rift byla vyrobena v roce 2016 společností Palmer Luckey, jejichž vývoj spolufinancovali společnosti Kickstarter a Facebook. Náhlavní souprava lze připojit k PC pomocí portů DVI a USB. Oculus Rift má v sobě zabudovaný sledovač, který sleduje pohyby hlavy tak, aby poskytoval aktuální 3D snímky na své obrazovce. Displej v náhlavní soupravě má rozlišení 2160 x 1200 pixelů a pracuje na 233 milionů pixelů za sekundu s obnovovací frekvencí 90 Hz. K náhlavnímu displeji koncem roku 2016 byla přidána řídicí jednotka Oculus Touch, kterou i s displejem můžete vidět na Obrázku 2.16. Řídicí jednotka Oculus Touch představuje dva ruční ovladače a je součástí náhlavní soupravy, která stojí přibližně 400 liber [19].



Obrázek 2.16: Náhlavní souprava Oculus Rift [o25]

Dalším zařízením je HTC Vive, který byl vyroben ve spolupráci s vývojáři počítačových her Valve. HTC souprava zobrazená na Obrázku 2.17 disponuje 70 čidly a nabízí tak 360 stupňové sledování hlavy. Brýle poskytují zorné pole 110° a obsahují displej s celkovým rozlišením 2160 x 1200 pixelů při frekvenci 90 Hz. Součástí soupravy jsou i dva snímače, které zaměřují polohu uživatele díky laserovým paprskům a dva ruční ovladače s 24 senzory pro opravdu přesné sledování pohybu. Celá souprava stojí přibližně 600 liber [19].



Obrázek 2.17: Náhlavní souprava HTC Vive [o26]

Náhlavní displej Sony PlayStation VR, jak už sám název napovídá, je zařízení propojující se s playstationem. Zařízení zobrazené na Obrázku 2.18 je kompatibilní s PS4. Disponuje jako předešlé soupravy 360 stupňovým obrazem a dvěma extrémně přesnými bezdrátovými ovladači DualShock 4. Předností této soupravy je poměrně nízká pořizovací cena, která se pohybuje kolem 400 liber [19].



Obrázek 2.18: Náhlavní souprava Sony PlayStation VR [o27]

2.4.2 Náhlavní displeje pro mobilní zařízení

S rostoucím technickým vybavením mobilních telefonů a uživatelskou pohodlností prožívat VR kdykoliv a kdekoliv, začaly společnosti nabízet uživatelům náhlavní displeje pro mobilní zařízení. V podstatě se jedná o podobná zařízení jako náhlavní soupravy pro PC, jen je zde displej nahrazen za displej mobilního telefonu. Uživatel tak do náhlavní soupravy zapojí a vsune svůj mobilní telefon a může se okamžitě ponořit do prostředí virtuální reality. Na trhu opět existuje celá řada zařízení, uživatel pouze musí sledovat, zda jeho telefon je kompatibilní s danou náhlavní soupravou.

Společnost Samsung nabízí na trhu vlastní řešení náhlavní soupravy Samsung Gear VR pro mobilní telefony své značky. Samsung se snaží každý rok tuto náhlavní soupravu vylepšovat a udělat ji kompatibilní s novými verzemi svých mobilních telefonů. Vylepšením pro rok 2017 je zcela nový regulátor, který pomáhá lépe se ponořit do obsahu VR, viz Obrázek 2.19. Kvůli tomuto novému regulátoru se cena pro tento rok mírně zvýšila. Zařízení nyní stojí zhruba 109 liber [19].



Obrázek 2.19: Náhlavní souprava Samsung Gear VR [o28]

Dalším zařízením na trhu je například náhlavní souprava Google Daydream View viz Obrázek 2.20. Zařízení náhlavní soupravy je kompatibilní pouze s několika mobilními telefony, jako například modely Motorola, Galaxy S8 a LG V30. Souprava není celá vyrobena z plastu, jako ostatní náhlavní soupravy, ale je převážně vyrobena z látky podobné sportovnímu oblečení. Díky jinému materiálu je náhlavní souprava daleko lehčí než ostatní mobilní náhlavní soupravy. Google dokonce směle tvrdí, že jeho řešení je o 30% lehčí než jakákoli jiná mobilní náhlavní souprava na trhu. Cena soupravy je oproti jiným také nižší, zařízení se prodává přibližně za 69 liber [19].



Obrázek 2.20: Náhlavní souprava Google Daydream View [o29]

3. Virtuální návodky v praxi

S rozšířenou realitou se úzce spojuje pojem virtuální návodka. Ta se snaží pomocí animací a efektů, kdy jsou virtuální prvky umísťovány do obrazu reálného prostředí, navádět pracovníka k sestavení zadaného kompletu. Virtuálními prvky umísťované v návodce do reálného obrazu bývají nejčastěji: součásti určené ke kompletaci, pracovní nářadí potřebné k montážním úkonům a šipky navádějící pracovníka kam sáhnout pro potřebný díl. Snahou virtuální návodky je eliminování nedostatků papírových návodků a videozáznamů ukazující pracovníkovi, jak postupovat k dokončení práce.

Od roku 2013, kdy se stále více mluví o trendu digitalizace a automatizace výroby, začínají velké podniky testovat rozšířenou realitu a s tím i vyvíjet různé jednoduché pracovní návodky a návodky pro údržbu zařízení. Na trhu se začínají i objevovat firmy, které nabízejí menším podnikům možnost vytvoření návodky přesně pro ně, bez nákladného vyvíjení a testování trvající řadu let. Důvody, proč větší podniky mají snahu disponovat virtuálními návodkami, jsou především výrazné snížení pracovního času, snížení zmetkovitosti u nových pracovníků a odstranění časových rozdílů mezi novým pracovníkem a pracovníkem již zběhlým.

Tvorba první pracovní návodky je připisována americké firmě Boeing, jedné ze dvou nejvýznamnějších firem působící v leteckém průmyslu. Jelikož letadla obsahují velké množství elektroniky a kabeláže, která musí být naprosto bez chybovosti, vyvinul v roce 1990 výzkumník Tom Caudell se svým pracovníkem Davidem Mizellem software zobrazující správné zapojení kabeláže. Kabeláž se v Boeingu dříve zapojovala na velkých překližkových deskách, kde bylo nakresleno správné zapojení. S vývojem softwaru, který do náhlavního displeje zobrazoval správné zapojení, došlo k odstranění překližkových desek a výraznému snížení času zapojení kabeláže [20].

3.1 Návodky v automobilovém průmyslu

Dnes se vývojem virtuální technologie a s tím spojeným vývojem virtuálních pracovních návodků a návodků k údržbě zabývají automobilky. Virtuální technologie v automobilovém průmyslu jsou reakcí na rostoucí počet modelů, verzí i variant a zkrácení doby vývoje, které charakterizují současný vývoj automobilového produktu. V následujících podkapitolách jsou představeny virtuální návodky, na jejichž vývoji dnes pracují jednotlivé automobilky.

3.1.1 Hyundai

Společnost Hyundai v listopadu roku 2015, spustila pro své zákazníky virtuální návodku na bázi AR. Aplikaci s návodkou si může uživatel zdarma stáhnout do svého smartphonu nebo tabletu v internetových obchodech Apple App Store a Google Play. Hyundai svou novou aplikaci pojmenovala Hyundai Virtual Guide a uživatel v ní může najít řadu informací o opravách, údržbě a vlastnostech vozu, jak je k vidění na Obrázku 3.1. Bohužel je zatím aplikace kompatibilní pouze s modelem auta Sonata 2015, ale společnost slibuje, že brzy bude k dispozici pro další modely aut značky Hyundai.

Aplikace Hyundai Virtual Guide využívá 2D a 3D technologii sledování, která poskytuje hluboké informace o různých částech automobilu. Technologie nabízí uživatelům celkem 82 videoklipů, více než padesát informačních příruček, rozpoznání více než 45 funkcí zařízení Sonata a šest 3D překryvných obrázků, které se objeví poté, co uživatel naskenuje oblast vozidla Sonata. Společnost si od virtuální příručky slibuje větší vzdělávání svých zákazníků o tom, jak používat a kde najít funkce svého vozidla a jak provést jednoduché kroky údržby na vozidle [21].

Při potřebě informací o vozidle, uživatelé jednoduše umístí kamery svých telefonů nebo tabletů nad částí automobilu a aplikace jim poradí. Virtuální průvodce společnosti Hyundai dokáže prakticky identifikovat a poskytnout podrobné informace o následujících věcech:

- Stav a výměna brzdové kapaliny
- Měření a doplnění motorového oleje
- Co znamenají dané výstražné indikátory
- Jak změnit čas na hodinách automobilu
- Kde se nachází pojistková skříň a k čemu jaké pojistky slouží
- Výměna vzduchového filtru [21]



Obrázek 3.1: Návodka Hyundai Virtual Guide v provozu [o30] a [o31]

3.1.2 BMW

Německá automobilka BMW zase v roce 2014 vyvinula vlastní řešení brýlí pro rozšířenou realitu. Snahou BMW bylo vytvořit brýle na bázi AR, které by sloužili vlastním mechanikům k usnadnění práce při opravě vozidel. Navíc tyto brýle pomáhají i těm pracovníkům, kteří nemají předchozí mechanické zkušenosti. Brýle pomocí rozšířené reality zobrazují průvodce s pokyny ve formě 3D virtuálních objektů na displeji brýlí. Mechanik tak kromě skutečného prostředí vidí i animované komponenty či nástroje k použití, jak můžete vidět na Obrázku 3.2. V brýlích jsou navíc integrována sluchátka, díky kterým mechanik i slyší potřebné informace o každém kroku [22].



Obrázek 3.2: Návodka pro vyvinuté brýle BMW [o32]

V roce 2015 pak automobilka oznámila, že projektují novou náhlavní soupravu podobnou službě Google Glass. Uplatnění najdou brýle u řidičů automobilu a budou jim hlavně pomáhat při řízení a parkování, jelikož do brýlí budou promítány obrazy malých videokamer umístěných mimo vozidlo. Řidič díky těmto obrazům získá ještě větší přehled při parkování a řízení vozidla. Brýle by také měly eliminovat nebezpečné úhly, když například řidič nevidí ve zpětném zrcátku nebezpečí. Další možné využití těchto vyvíjených brýlí by bylo, kdyby došlo k propojení brýlí s GPS navigací. Řidič by tak mohl v zorném poli sledovat směr navolené cesty a nemusel bych odklánět svou pozornost k GPS navigaci. Ukázka vyvíjených brýlí je zobrazena na Obrázku 3.3 [23].



Obrázek 3.3: Možný vzhled nových brýlí BMW [o33]

3.1.3 Volkswagen

Společnost Volkswagen spolupracovala v roce 2013 se společností Metaio, která se podílela na tvorbě aplikací a SW na bázi AR, na vývoji aplikace s AR pro mobilní zařízení iPad. Aplikace byla pojmenována MARTA (Mobile Augmented Reality Technical Assistance) a byla vyvinuta pro luxusní automobil Volkswagen XL1. Ukázka aplikace MARTA je znázorněna na Obrázku 3.4.

Aplikace používá fotoaparát iPadu především pro prohlížení interiérů vozidla a označování různých částí a prvků tak, aby zaměstnanci servisu VW věděli, na čem pracují. MARTA také slouží jako virtuální návodka, kdy ukazuje postupné pokyny, jak opravit a vyměnit některé komponenty. Aplikace také slouží k testování různých konstrukčních prvků, jako je nový design nebo jiná barva [24].



Obrázek 3.4: Ukázka aplikace MARTA od Volkswagenu [o34]

3.1.4 Volvo

Společnost Volvo zase začala v roce 2015 spolupracovat s Microsoftem, který vyvinul brýle pro AR, zvané Hololens, na tvorbě aplikace pro futuristický způsob budování a nakupování automobilů. V blízké budoucnosti by si tak zákazníci mohli měnit interiér automobilu, spolu s barvou laku a designem ráfků.

Mimo tento vývoj se také Volvo s Microsoftem snaží vytvořit pracovní návodky do brýlí Hololens, které by pomáhaly pracovníkům montážní linky Volvo při práci. Do brýlí by se promítaly informace, co v jakém kroku má dělník smontovat, kolik dílů bude potřebovat a jaké označení mají ony díly. Ukázka možné návodky společnosti Volvo je k vidění na Obrázku 3.5 [25].



Obrázek 3.5: Ukázka virtuální návodky v montážní dílně společnosti Volvo [o35]

3.1.5 BOSCH

Německá společnost Bosch sice nevyrábí automobily, ale je velký subdodavatel v automobilovém průmyslu. Vyrábí řadu součástí od diesellových systémů, přes brzdné systémy a mechatronické komponenty až po automobilovou elektroniku.

Bosch je také průkopníkem nových trendů, mezi které v posledních letech patří právě rozšířená realita. Společnost vidí velký potenciál v uplatnění rozšířené reality v automobilovém průmyslu, avšak automobilové společnosti zavádějí AR do výroby a marketingu velmi pomalu, jak je patrné z podkapitol 3.1.1 až 3.1.4. Automobilky zatím spíše vyvíjejí nové náhlavní soupravy a provádějí testování a zkoušení vlastních aplikací na bázi AR. Proto se Bosch rozhodl vyvinout vlastní softwarovou platformu CAP, která by pomohla větší industrializaci rozšířené reality v automobilkách.

CAP je platforma pro vytváření vysoce výkonných aplikací s rozšířenou realitou na zařízení s operačním systémem iOS, Android a Windows. Platforma poměrně snadno a rychle usnadňuje integraci digitálního a vizuálního obsahu například do technických dokumentací. Pro tento účel je platforma CAP rozšířena rozsáhlou databází, ze které je získáván požadovaný obsah pro danou aplikaci. Kromě písemných informací a vysvětlení v textovém formátu mohou být do aplikace přidány i videoklipy, obrázky, technické výkresy, 3D objekty, audio nahrávky a značky pro sledování konfigurace [26].

Díky platformě od společnosti Bosch budou moci automobilky a i jiné společnosti vytvářet virtuální návodky, které budou navádět techniky v servisech k přesnější diagnostice poruch a jejich rychlejší opravě. Platforma nabízí technikovi i pohled do umístění skrytých součástí nebo kabelových svazků za palubní deskou, které by technik musel zdlouhavě hledat v dokumentaci. Pokyny a požadované speciální nástroje jsou technikovi zobrazovány na živém obrazu, což opět značně urychluje opravu. Další pracovní kroky jsou tedy jasné a lze tak zamezit zbytečné demontáži a opětovné montáži. Na následujícím Obrázku 3.6 jsou k vidění virtuální návodky běžící na platformě CAP vyvinuté společností Bosch[26].



Obrázek 3.6: Virtuální návodky běžící na platformě od společnosti Bosch [o36]

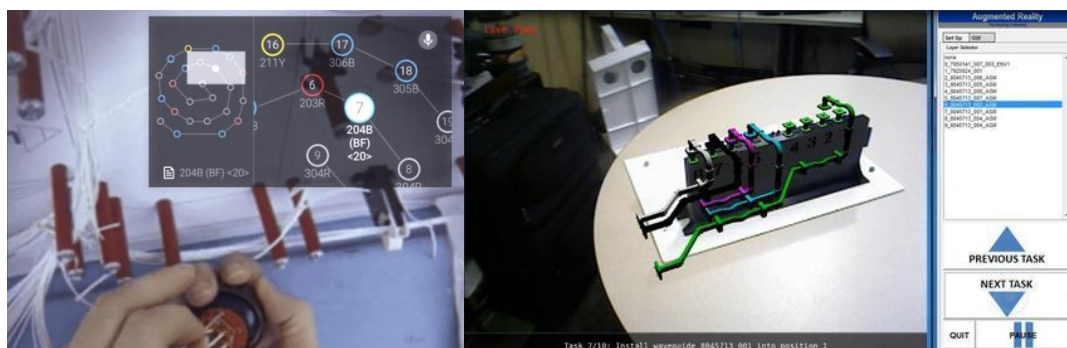
3.2 Letecký průmysl

Leteckému průmyslu je připisována první naprogramovaná virtuální návodka, kterou v roce 1990 představila firma Boeing. Od té doby začaly i ostatní firmy vyvíjet a zkoumat využití rozšířené reality v jejich výrobě. Při výrobě letadel jsou na rozdíl od jiných odvětví velmi přísné požadavky na dodržení bezchybovosti. Řada součástí a komponent musí být správně smontována a zapojena, protože i sebemenší chyba by mohla způsobit fatální následky. Z toho důvodu se snaží letecké společnosti zavádět do rizikových montáží, jako je například zapojování kabeláže, virtuální návodky k zajištění většího přehledu dělníka a eliminaci možné lidské chybovosti. V následujících podkapitolách jsou představeny dvě nejznámější letecké společnosti, které se snaží uplatňovat virtuální návodky v jejich montáži.

3.2.1 Boeing

Již v roce 1995 začala společnost Boeing experimentovat s brýlemi na bázi AR, ale díky tehdejší technologické vybavenosti byly brýle rozměrné s malou životností baterie. Dnes zásluhou vysokého pokroku v tomto odvětví, může společnost používat Google glass pro zobrazování rozšířené reality.

Společnost se snaží Google glass používat ke stavbě kabelových svazků v letadlech, aby snížila dobu montáže a chybovost. S Google glass, které nahradily počítačové monitory, došlo ke snížení montážního času pro kabelové svazky o 25% a snížení míry chyb na polovinu. Software užívaný v těchto brýlích vyvinula společnost společně s firmou APX Labs, která je výrobcem softwarových platforem pro Google glass. Aplikace s názvem Skylight funguje tak, že brýle skenují QR kódy a pomocí softwaru je následně do brýlí promítnut požadovaný návod k montáži. Aplikace dokonce podporuje hlasové příkazy k zobrazení potřebných věcí do brýlí. Ukázky virtuálních návodků firmy Boeing jsou zobrazeny na Obrázku 3.7 [27].



Obrázek 3.7: Virtuální návodky společnosti Boeing [o37] a [o38]

3.2.2 Airbus

SART (Smart Augmented Reality Tool) je označení pro software, který pro různé účely při výrobě letadel používá společnost Airbus od roku 2011. Software není určen do brýlí, jako v případě Boeingu, ale užívá se v tabletech s videokamerou. Podle Airbusu ji každý den využívá téměř 1000 zaměstnanců společnosti na všech leteckých programech. Jedním z příkladů využití SART je kontrola instalace držáku v sestavě trupu letadla. Díky tabletu s kamerou se přenáší virtuální obraz sestavy, která je v pořádku, přes skutečný výrobek, který byl vyroben. Operátor tak snadno detekuje odchylky a možná poškození, viz Obrázek 3.8.

Podle Airbusu zavedení SART snížilo inspekční dobu v některých případech z 3 týdnů na pouhé 3 dny [28].



Obrázek 3.8: Virtuální návodky společnosti Airbus [o39] a [o40]

3.3 Další průmyslová odvětví

Virtuální návodky na bázi rozšířené reality mají pro větší podniky, které si mohou dovolit tuto technologii pořídit, řadu výhod. Především urychlují výrobní či opravářskou práci tím, že uživatel rychle a přehledně poskytuje potřebné informace. Dále se snaží zamezit uživateli dělat chyby a tím tak vytvářet výrobky nedostatečné kvality. V neposlední řadě poskytují ukázky jednoduchých pracovních pokynů, které slouží k lepšímu pochopení novým pracovníkům či pracovníkům cizí národnosti.

Proto se dnes řada vývojářských firem zaměřuje na vytváření platform, které umožní firmám zavést virtuální návodky do jejich výroby. Firmy buďto nabízejí vlastní řešení a vyvinuté softwary nebo možnou spolupráci a poskytnutí svých znalostí při vývoji nového řešení uplatnění AR v dané firmě.

V následujících podkapitolách 3.3.1 a 3.3.2 jsou představeny dvě vývojářské firmy virtuálních návodků, které nabízejí jiným společnostem v různých průmyslových odvětvích svá řešení.

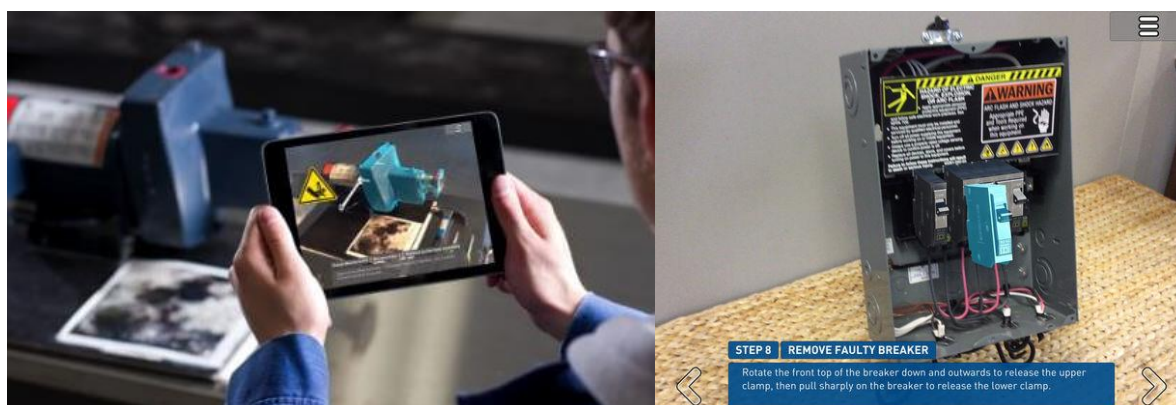
3.3.1 Scope AR

Soukromá společnost Scope AR, založená v roce 2010, je poskytovatel řešení rozšířené reality a produktů na bázi AR. Společnost od roku 2011 vyvíjí technologie rozšířené reality pro různá průmyslová odvětví, jako je těžba ropy a zemního plynu, letecký průmysl, lékařský průmysl a vojenský průmysl. Scope AR nabízí zákazníkům dva své produkty WorkLink a Remote AR, které pomohou zákazníkům implementovat rozšířenou realitu ve své firmě.

WorkLink je jednoduchý softwarový nástroj umožňující vytváření virtuálních návodků a zlepšování pracovních postupů. Slouží také ke shromažďování a analýze metadat, jako jsou časová razítka, videozáznamy a uživatelské aktivity. Software umožňuje použít ke tvorbě virtuálních návodků konvertované 3D modely a importovat do návodků animované texty, obrázky, videa a kontrolní seznamy. Ukázka užití softwaru WorkLink je znázorněna na Obrázku 3.9 [29].

Oproti tomu Remote AR je software, který může pracovat společně s WorkLinkem nebo samostatně. Software umožňuje pracovníkovi spojit se s interními odborníky, kteří přesně vidí to, co vidí pracovník. Oba uživatelé mají možnost manipulovat s rozšířeným obsahem a přidávat do kamerového obrazu poznámky. Odborník tak může pracovníkovi poskytnout jasné vizuální pokyny krok za krokem [29].

WorkLink a Remote AR pracují s nejrůznějšími zařízeními, jako je náhlavní souprava HoloLens, brýle pro rozšířenou realitu Epson BT-200 a ODG R7 a tablety a chytré telefony s operačním systémem iOS a Android [30].



Obrázek 3.9: Ukázka virtuálních návodů ve WorkLink [o41] a [o42]

3.3.2 Gravity Jack

Společnost Gravity Jack, která byla založena v roce 2009, je soukromá společnost zabývající se výzkumem a vývojem softwarů se specializací na rozšířenou realitu, umělou inteligenci a počítačové vidění. V roce 2017 společnost představila novou počítačovou technologii nazvanou PoindexAR. Tato technologie spojuje umělou inteligenci s počítačovým viděním a poskytuje tak každému výpočetnímu zařízení schopnost přesně detekovat a sledovat jakýkoli objekt skutečného světa bez ohledu na velikost, texturu, průhlednost, světelné podmínky nebo jiné předchozí výzvy AR. PoindexAR je tedy schopný za pomoci kamery detekovat a rozšiřovat libovolný objekt bez potřeby markerů. Technologie tudíž odstraňuje potřebu umístit identifikační značku do sledované polohy, aby jiné softwary mohly do takto označeného místa zobrazit umělé objekty [31].

Firma očekává, že by tato technologie mohla nalézt různá uplatnění v armádě a také jiných průmyslových odvětví především pro tvorbu pracovních návodů. Gravity Jack také nabízí ostatním firmám možnost s nimi spolupracovat a pokrývat náklady, aby vyvinul žádaná řešení, software či pracovní návodku, které bude odpovídat jejich potřebám. Na Obrázku 3.10 je ukázka z prostředí PoindexAR.



Obrázek 3.10: Virtuální návodka s technologií PoindexAR [o43]

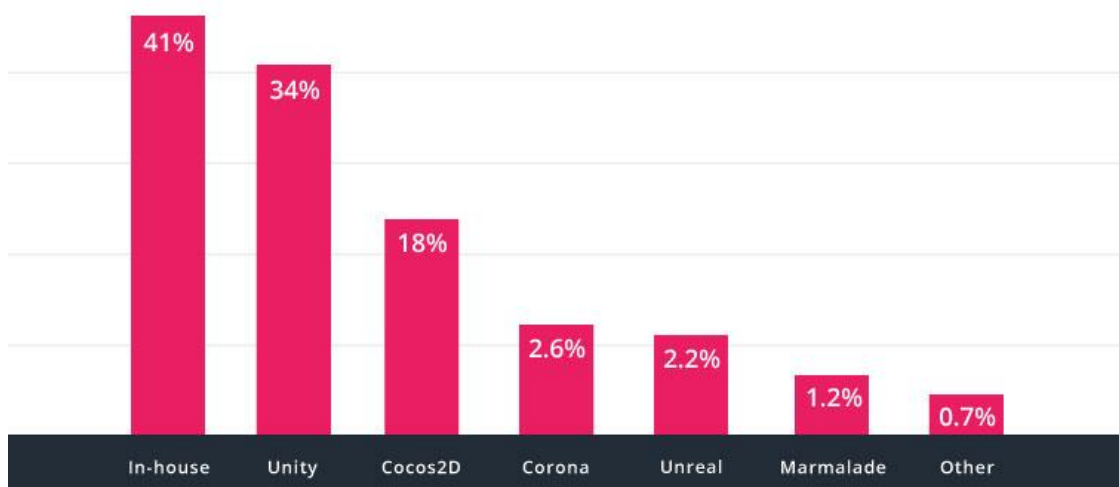
4. Software k tvorbě virtuální návodky

Virtuální návodka pro montáž dřezového sifonu A441P byla tvořena v softwaru Unity 3D, který na Katedře průmyslového inženýrství a managementu využívají kantoři a pracovníci k tvorbě interaktivních aplikací. K výběru softwaru Unity 3D také přispěly osobní znalosti a zkušenosti s prací v něm. V rámci předešlého psaní vlastní bakalářské práce již byla vytvořena jednoduchá návodka pro mobilní zařízení s OS android. Návodka uživatele naváděla k sestavení produktu dle ukázek animací v jednotlivých krocích. Byla řešena za použití rozšířené reality, kdy se nad vybranou značkou (markerem) zobrazovala potřebná animace.

Pro tvorbu virtuálních návodků v softwaru Unity 3D bylo pracovníkem katedry Ing. Jiřím Polcarem vytvořeno prostředí nazvané Virtuální montážní příručka (Virtual Assembly Manual). Prostředí umožňuje jednoduché vytváření animací, řazených v postupných krocích dle časové návaznosti. V prostředí jsou i připraveny kódy umožňující ovládnutí vytvořené návodky jako: zastavení přehrávání animace, puštění následujícího kroku, vrácení se na předchozí krok a další.

4.1 Unity 3D

Unity 3D je multiplatformní herní engine vyvinutý původně dánskou společností Unity Technologies v roce 2005. Výkonný grafický engine a plnohodnotný editor umožňují vývojářům vytváření krásných a poutavých 2D či 3D her a aplikací. Unity 3D je mezi vývojáři druhý nejpopulárnější software k tvorbě mobilních her a aplikací. Je spočítáno, že z tisíce nejlepších mobilních her je jich 34% vyrobeno v prostředí Unity 3D, jak je znázorněno na Obrázku 4.1. Do prostředí Unity je možné i importovat další rozšiřující programy jako například Vuforia SDK, což je sada umožňující vytváření aplikací s rozšířenou realitou. Výhodou Unity 3D je podpora na více než 15 platformách jako jsou: iOS, Android, Windows, Mac, Linux, PlayStation 4, Xbox One, Wii U, Oculus Rift a další. Kromě grafického prostředí pro tvorbu her a aplikací, podporuje Unity 3D také tvorbu skriptů v jazycích: JavaScript, C# a Boo. Společnost Unity Technologies nabízí herní engine pro studenty a začínající vývojáře zdarma ke stažení. Pokud se však jedná o tvůrce, kteří chtějí své dílo zveřejnit a potřebují více rozšiřujících funkcí softwaru, nabízí společnost dvě placené varianty od 35 - 125 \$/měsíc [32].



Obrázek 4.1: Procentuální užití SW pro tvorbu mobilních her [o44]

Vývojářská práce v Unity 3D se skládá ze dvou základních částí, a to: navrhování 3D prostředí a programování. Rozhraní softwaru se skládá z několika podoken, která můžete vidět na Obrázku 4.2.

Okno scény je jedno z nejdůležitějších oken v Unity 3D, kde se vytváří grafické prostředí hry, nebo aplikace. Jsou zde umístěny modely s jasně stanovenou pozicí, světlo osvětlující scénu pod daným úhlem a kamera, která snímá určitou část scény.

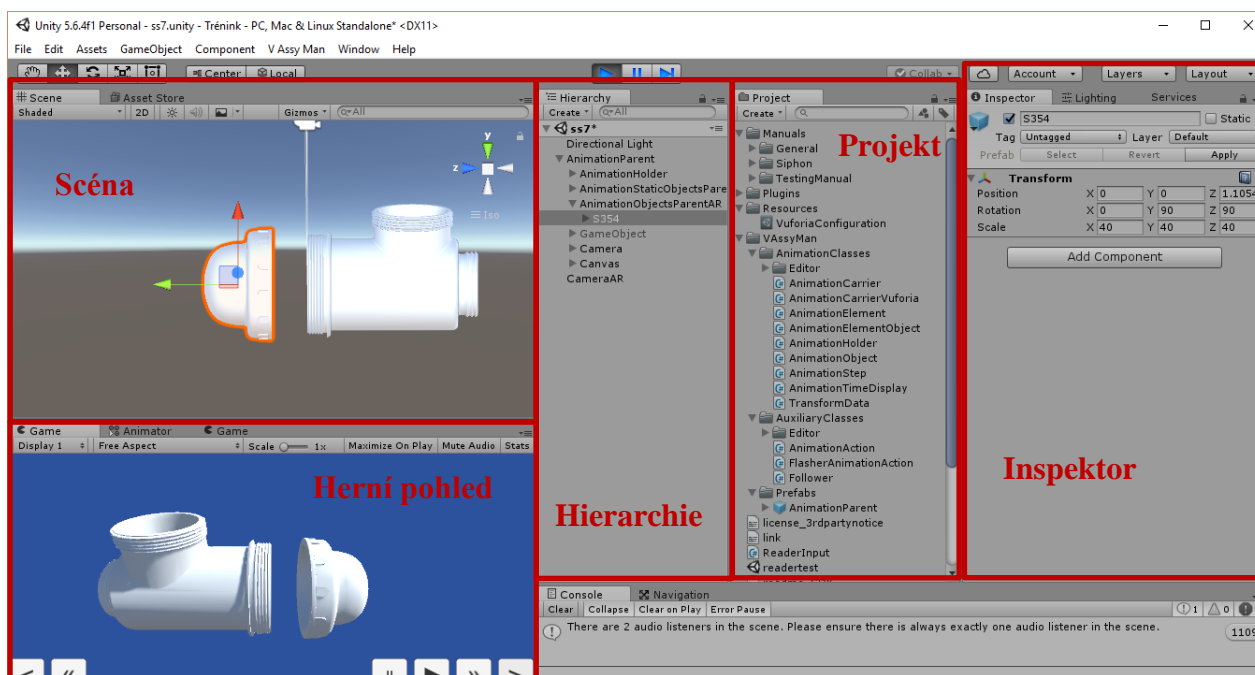
Dalším oknem je herní pohled neboli Game, na kterém vývojář vidí, jak vytvářená hra bude vypadat. Po spuštění celé aplikace (ovládací panel nad oknem hierarchie), se může vývojář vytvořeným prostředím pohybovat, dělat zde určité úkony, stejně jako ve výsledné hře. Herní okno tedy vlastně slouží vývojáři k testování a zkoušení vytvořených věcí.

K zvýšení přehlednosti mezi objekty použitými ve scéně slouží okno hierarchie. Zde se postupně řadí modely, kamery, osvětlení a další herní objekty, které vývojář použil ve scéně. Je zde možné i vnoření objektu pod jiný objekt, tím se docílí toho, že vnořený objekt bude od nadřazeného přebírat transformační nastavení, jako: pozici, zvětšení a rotaci.

Okno projektu obsahuje všechny soubory, které tvoří vyvíjenou hru či aplikaci. Každý nově vytvořený unity projekt v sobě obsahuje složku *asset*, jejíž obsah je uveden v okně projektu. Do projektu unity lze tak přidávat 3D modely, skripty, textury, zvukové soubory a další, buď přetaženým do projektového okna, nebo přes import new asset v menu Unity 3D.

Inspektor je okno zobrazující informace o vybraném herním objektu včetně všech jeho připojených komponent. Jsou zde informace o pozici v trojrozměrném prostředí, rotaci a zvětšení objektu do tří rozměrů. V inspektoru se dají také přidávat nebo odebírat komponenty a vývojář může aktivovat či deaktivovat celý objekt. Další úkony, které může vývojář dělat, jsou například přikládání skriptů a přidávání materiálu ke komponentám. Inspektor tedy slouží k zobrazování informací o objektu a nastavování jeho vlastností.

Vývojář si v softwaru Unity 3D může zobrazit i další okna, která pro svou práci potřebuje. Jedno z dalších oken, které je dobré si při práci otevřít je například okno Console, které vývojáři ukazuje chyby a varovné hlášky, které při vyvíjení hry nastanou.

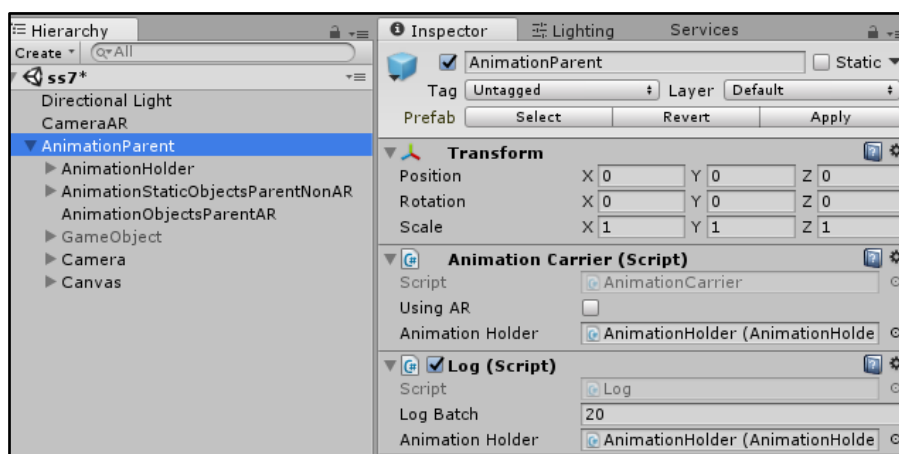


Obrázek 4.2: Rozhraní Unity 3D [vlastní tvorba]

4.2 Prostředí Virtual Assembly Manual

Prostředí virtuální montážní příručky v Unity 3D bylo vytvořeno za účelem rychlé a snadné tvorby montážních návodek bez zdlouhavého programování. Montážní návodka je rozdělena do několika kroků, které za sebou postupně následují a přehrávají jednotlivé animace, co má uživatel udělat.

Prostředí virtuální montážní příručky se skládá ze základní složky, která je nazvána *AnimationParent*. Složka, jak můžete vidět na Obrázku 4.3, obsahuje další podsložky, jejichž funkce budou v dalších odstavcích této kapitoly vysvětleny.

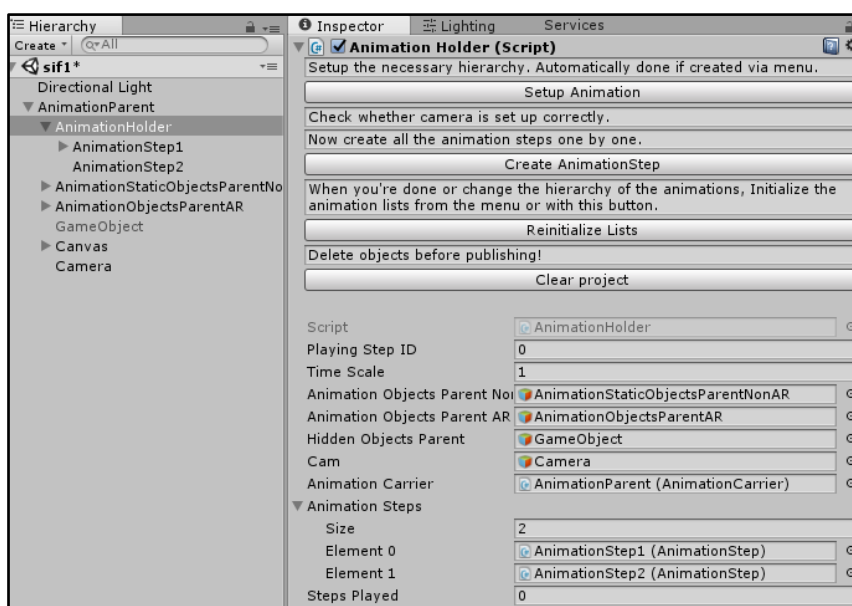


Obrázek 4.3: Složka virtuální montážní příručky *AnimationParent* [vlastní tvorba]

Do podsložek *AnimationStaticObjektsParentNoAR* a *AnimationObjektsParentAR* se umisťují 3D modely, které chceme v daném kroku zobrazit. Do složky obsahující slovo *Static* se umisťují modely, které se v kroku nepohybují, jsou tedy statické. Druhá složka obsahuje modely, které se v čase posouvají, rotují, nebo konají nějaký jiný pohyb. Objekty, které v dalším kroku již nepoužijeme, jsou odkládány do neaktivní podsložky *GameObject*. V této složce jsou seskupeny všechny 3D modely použité v animacích návodky. Při spuštění aplikace jsou modely ze složky vytahávány do předešlých dvou podsložek statických a dynamických objektů a pak opět navraceny do neaktivní podsložky *GameObject*.

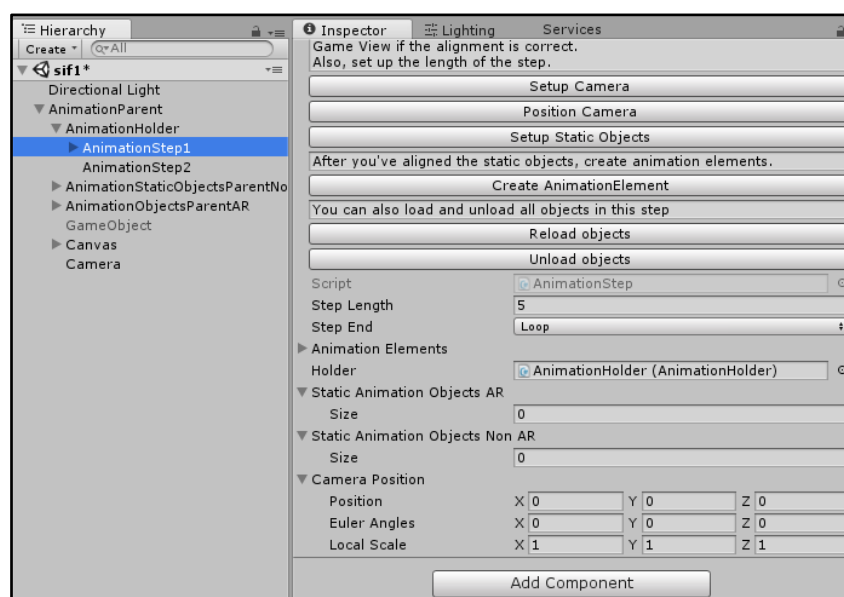
Podsložka *Camera* slouží k snímání dané scény. Dá se v ní nastavit pozice kamery, úhel snímání scény, barva pozadí scény, displej, na kterém se bude návodka zobrazovat a další jiné parametry. *Canvas* je složka vytvářející jakési plátno, do kterého může vývojář umisťovat tlačítka pro přehrávání, zastavení animace či tlačítka k přeskokování jednotlivých kroků.

AnimationHolder je nositel všech kroků animace a animačních prvků. Jak je zobrazeno na Obrázku 4.4, je zde vložen *AnimationHolder* skript, který umožňuje vytvářet jednotlivé animační kroky, které se postupně hierarchicky řadí za sebou. Dále jsou tu tlačítka pro opětovné spuštění animačního seznamu a vyčištění projektu od objektů. V skriptu jsou pak také umístěny odkazy na složky stálých i pohyblivých objektů v animacích, skrytá složka *GameObject* (složka, kde jsou všechny použité 3D modely), hlavní kamera a další. Je zde k vidění i okno pro animační kroky. Vývojář může vidět, kolik má vytvořeno animačních kroků v poli *Size*. Pokud si přeje přehrát jen některé kroky, například jeden, tak změní číslo na jedna a v dalším poli dole si vybere příslušný krok ze seznamu.



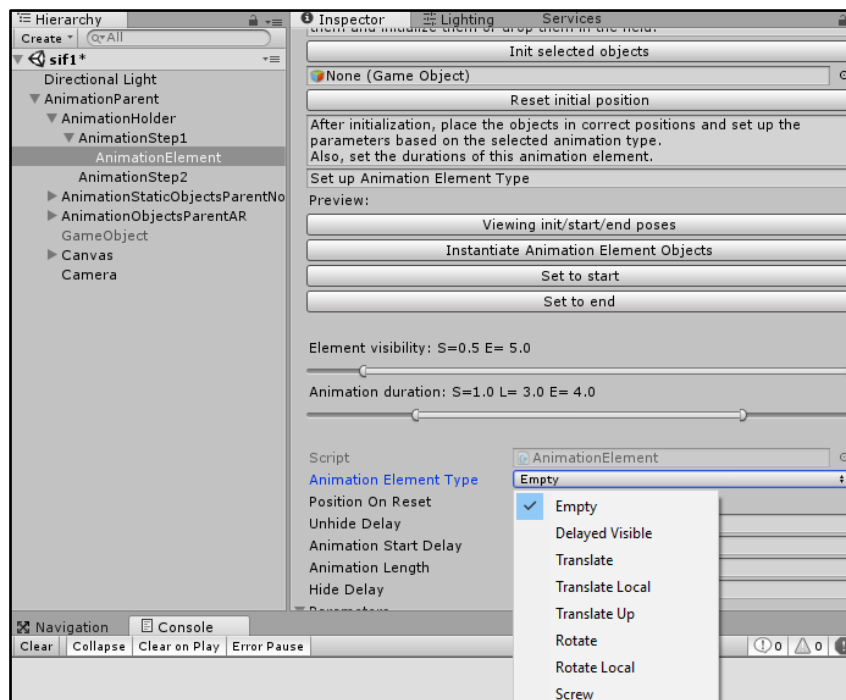
Obrázek 4.4: Obsah podsložky *AnimationHolder* [vlastní tvorba]

Pokud v předchozí složce *AnimationHolder* vytvoříme nový animační krok, vytvoří se další podsložka *AnimationStep*, která v sobě obsahuje stejně pojmenovaný skript. Na Obrázku 4.5 jsou k vidění tlačítka k načtení pozice kamery, kterou si pro daný krok vždy nastavíme. Souřadnice kamery pro daný krok jsou také k vidění v dolní části u pole *Camera Position*. V podsložce je umístěno i tlačítko pro načtení statického objektu. Stisknutím tohoto tlačítka dojde k načtení všech 3D modelů, které jsou umístěny ve složce *AnimationStaticObjektsParentNoAR* v levé části Obrázku 4.5. Do složky se umísťují 3D modely, které se v daném kroku nebudou hýbat, budou tedy statické. Dále jsou zde tlačítka pro opětovné načtení objektů, tlačítko pro vytvoření animace (pohyblivé části), okna pro vyplnění délky kroku (*Step Length*), výběr ukončení tohoto kroku (jestli se bude opakovat, nebo hned za ním se spustí další krok) a pole, kde jsou vyplněny použité statické a dynamické objekty.



Obrázek 4.5: Obsah animačního kroku *AnimationStep* [vlastní tvorba]

Stisknutím tlačítka *Create AnimationElement* dojde k vytvoření podsložky *AnimationElement*, ve které vývojář tvoří animaci. Nad tlačítkem *Reset initial position* je vytvořeno pole, kam vývojář přetáhne 3D model, který bude konat nějaký pohyb. Pohyblivý model je přetažen ze složky *AnimationObjektsParentAR* do pole a ve spodní části vytvořeného skriptu si vývojář vybere, jaký typ pohybu bude model konat. Na Obrázku 4.6 je k vidění seznam pohybů. Jsou zde pohyby jako: posun, lokální posun, posun vzhůru, rotace, místní rotace a šroubový pohyb. Vývojář si po vybrání typu pohybu označí konečnou a počáteční polohu modelu, kterou si může později zobrazit tlačítka *Set to start/end*. Ve skriptu lze i nastavit, v jaký časový okamžik od zahájení kroku se má zobrazit použitý model a kdy má zmizet z animace (pole *Unhide Delay* a *Hide Delay*). V polích *Animation Start Delay* a *Animation Length* lze nastavit časový okamžik, kdy se začne model pohybovat a jak dlouho má tento pohyb vykonávat.









Obrázek 4.6: Obsah podsložky *AnimationElement* [vlastní tvorba]

5. Tvorba vlastní návodky

Návodka pro montáž dřezového sifonu A441P byla rozdělena do jedenácti kroků. V prostředí virtuální montážní příručky Unity 3D bylo ve složce *AnimationHolder* vytvořeno všech potřebných jedenáct kroků. Kroky byly pojmenovány jako Krok a očíslovány pro rychlou orientaci v nich. Každému kroku byly přiřazeny modely dílů, které se v animaci nepohybují a jsou pouze vloženy na scéně. Krokům bylo ještě zapotřebí vybrat vhodnou pozici pro kameru snímající celou animaci a časovou délku daného kroku. Po těchto nezbytných operacích byly ke každému kroku vytvořeny animace. Animace byly opět vhodně pojmenovány, jako Posunutí S048, Šroubování S048, Vložení S120, aby v případě chyby uživatel věděl kam sáhnout. Modely dílů, které v daném kroku nebyly zobrazeny na scéně, jsou umísťovány do neaktivní složky *GameObjekt* a její podsložky *Díly* a *Kompletní díly*.

Pro montáž dřezového sifonu je zapotřebí osmnáct dílů a elektrický šroubovák k dotažení šroubu S014. Přehled potřebných dílů k montáži pro daný krok a ukázka prostředí v Unity 3D je znázorněn v sekci příloh viz Příloha č. 1.

K ovládání a přepínání mezi zobrazovanými kroky návodky byl zvolen systém tlačítek. Ve složce *Canvas* bylo vytvořeno sedm tlačítek, kterým byly přiřazeny potřebné skripty zajišťující jejich funkčnost. Tlačítka se spolu s animací zobrazují trvale na hlavní scéně u dolního okraje. Ovládacím tlačítkům byly přiřazeny ve společnosti běžně používané symboly, jejichž funkce lidé znají z jiných aplikací či přístrojů. Pro informaci jsou v Tabulce 5-1 vypsaná a vysvětlena všechna použitá tlačítka v návodce.

Název tlačítka	Funkce tlačítka	Obrázek tlačítka
BtnNext	Pouští následující krok	
BtnPrev	Pouští předešlý krok	
BtnFast	Zrychluje animaci 2x	
BtnSlowly	Zpomaluje animaci 2x	
BtnPlay	Spouští animaci/vrací původní rychlost animace	
BtnStop	Ukončuje přehrávání animace	
BtnPause	Pozastavuje přehrávání animace	

Tabulka 5-1: Seznam použitých tlačítek v návodce [vlastní tvorba]

Kromě animované virtuální návodky, která se bude montážnímu pracovníkovi zobrazovat vedle pracoviště na monitoru, byla do projektu ještě umístěna druhá hrací scéna, jenž bude za pomoci projektoru barevně osvětlovat pozice boxů s díly. Pracovník tak ihned uvidí, v jakých přepravkách jsou potřebné díly pro montáž. Projektor byl umístěn nad dané pracoviště, přesně doprostřed dvou řad přepravek s díly. Jeho umístění je patrné z Obrázku 7.1 v následující kapitole 7.

Z tohoto důvodu byla do projektu přidána druhá kamera, nazvaná *CameraAR*. Původním záměrem bylo umístit do projektu i celý model pracoviště, kde budou jasně patrné pozice krabic s díly a bude tak rychle možné tyto pozice lokalizovat. Byl proto proveden 3D scan pracoviště, ze kterého byl získán trojrozměrný model, jenž se umístil do Unity 3D. Do pozice, kde scanner zachytil projektor, byla v Unity 3D umístěna druhá kamera snímající rozestavení přepravek s díly. Poté už byly v Unity 3D vymodelovány barevné kvádry, které byly umísťovány přesně do pozic v modelu, kde se nacházely přepravy s díly. Po spuštění projektoru se ovšem nedařilo přesně překrýt osvětlované obrazce s pozicí boxu. Postupně byla měněna pozice softwarové kamery v Unity, její zorný úhel, natočení i přiblížení a pozice projektoru nad pracovištěm. Stále se však nedařilo překrýt promítaný obraz s pozicí boxů. Pozice boxů nad pracovištěm se dařilo překrývat vcelku dobře, problém však činily krajní boxy, které byly nejvíce vzdáleny od objektivu projektoru. Po chvíli ladění bylo od tohoto záměru nakonec odstoupeno a byl zvolen jiný postup.

Již umístěná kamera *CameraAR* byla v Unity 3D situována do libovolně vybrané pozice a mírně natočena z důvodu promítání projektoru pod patrným úhlem. Do prostoru pod *CameraAR* byly postupně po jednom modelovány kvádry, které projektor promítal na přepravy. Vždy takto namodelovaný kvádr byl pojmenován jako *Pozice + označení dílu*. Všechny pozice kvádrů jsou umístěny v podsložce *Pozice* složky *GameObjekt*, kde se nacházejí všechny objekty animace.

Vytvořeným kvádrem, představujícím pozici boxu v Unity 3D, bylo následně manipulováno po scéně a zároveň byl sledován jeho světelný obraz na požadovaném boxu skutečného pracoviště. Tímto způsobem bylo lokalizováno všech patnáct boxů umístěných na pracovišti. Zbývající tři díly se díky svým rozměrům, omezené velikosti pracoviště a omezené snímané ploše projektoru, nepodařilo dostat do prostoru projektoru. Neosvětlené díly jsou tak umístěny po pravé straně pracoviště a v animaci je pracovník textem upozorněn, že díly se nenachází v osvětlené části, ale v regálu po pravici. Vytvořené a správně situované pozice byly v konečné fázi přidány do jednotlivých jedenácti kroků jako statické nepohyblivé objekty.

Za barevné osvětlení, kterým projektor osvětluje krabice, byla vybrána červená barva. Červená byla z řady vytipovaných barev nejlépe vidět na šedém podkladě přepravek a pracovník ji tak nejlépe zaregistruje. Na Obrázku 5.1 je zobrazeno barevné osvětlení některých boxů tak, jak je uvidí pracovník při montáži.



Obrázek 5.1: Osvětlené pozice potřebných dílů [vlastní tvorba]

Po otestování virtuální návodky pracovníkem katedry Jiřím Polcarem, byly do návodky ještě zakomponovány připomínky, zlepšující navádění montážního pracovníka. Ke každému kroku virtuální návodky byly na modrou scénu umístěny fotografie potřebných dílů. Pracovník si díky fotografiím může ověřit, že vybral správný díl. V návodce byla nalezena i místa, která nejsou zcela jasně zřetelná a viditelná pro správnou montáž. Pokud daný díl dosedá na místo, které na animaci není zcela zřetelné, může dojít k nesprávnému nasazení ze strany pracovníka. Z tohoto důvodu byla na hlavní scénu potřebného kroku umístěna další kamera zobrazující detailnější pohled. Pracovník tak nemusí dlouze přemýšlet, kam díl přesně dosedá nebo do které drážky se zasouvá. Všechny obrázky i detaily kamery jsou umístěny v podsložkách *Detaily a Obrázky*, složky *GameObjekt*. Na Obrázku 5.2 je znázorněn pohled na jeden z kroků animace, který bude zobrazen pracovníkovi při sestavování dřezového sifonu.



Obrázek 5.2: Pohled na scénu montážní návodky [vlastní tvorba]

6. Výchozí studie naměřených dat z roku 2017

Diplomová práce vychází z realizace a výsledků diplomové práce Ing. Lucie Fejfarové z roku 2016/17 s názvem: Využití virtuálních montážních návodů. Snahou studentky bylo vytvořit a následně otestovat, zda a o kolik procent umožní virtuální návodka snížit montážní čas daného produktu oproti papírovému návodu.

Studentka v praktické části své práce vytvořila virtuální návodku na sestavení dřezového sifonu A441P od firmy Alca plast, s. r. o. Obsahem virtuální návodky byly jednotlivé kroky, jak přesně postupovat při montáži osmnácti dílů dřezového sifonu. Každý krok obsahoval animaci, jak se má daný díl do kompletu zasadit a případně i komentář, co se v jednotlivém kroku dělá a na co si má pracovník dát pozor. Vytvořená virtuální návodka se dala promítat na monitor počítače [33].

Ve fázi testování studentka provedla časové měření montáže sifonu na vybrané skupině 24 studentů a zaměstnanců Západočeské univerzity v Plzni. Měření probíhalo v Laboratoři ergonomie a rozšířené reality označené fakultou jako UK 310 na Katedře průmyslového inženýrství a managementu na Západočeské univerzitě v Plzni. V laboratoři, vybavené montážním stolem s vlastním osvětlením, počítačovým monitorem, elektrickým šroubovákem, židlí a regály s KLT boxy na potřebné díly, si pracovníci vyzkoušeli čtyřikrát po sobě sestavit daný sifon. Ve většině případů došlo při každém dalším pokusu k úbytku času na sestavení sifonu. Jelikož studentka chtěla porovnat délku času sestavování sifonu podle virtuální a papírové návodky, rozdělila skupinu lidí na dvě části po dvanácti lidech. Jejich časy následně vyhodnotila a porovнала [33].

6.1 Data získaná z montáže dle papírové návodky

Montáž dřezového sifonu A441P podle papírové návodky byla provedena v březnu 2017. Celkem bylo provedeno časové měření montáže sifonu u dvanácti studentů různého pohlaví a věku v rozmezí 20 - 26 let.

Studenti byli do laboratoře zváni postupně po jednom, aby nedocházelo k zapamatování si postupu montáže u studentů, kteří by montáž sledovali. Každému studentovi bylo před montáží představeno pracoviště a v případě potřeby si mohl rozsvítit osvětlení nad stolem. Na stole pracoviště byly položeny desky s papírovými návodkami a instrukce, které zněly:

- 1) Najdi v deskách návodku pro montáž dřezového sifonu A441P.
- 2) Podle návodky sestav daný dřezový sifon.

V deskách bylo vloženo 27 různých papírových návodů a student měl mezi nimi najít tu správnou. Z desek ji vyndat a postupně dle jejích instrukcí sestavit dřezový sifon. Z měření studentů byly spočítány průměrné hodnoty doby trvání těchto činností, jak je znázorněno v Tabulce 6-1. Vypsání činnosti musí pracovník vždy před započítáním montáže vykonat. Proto byla vytvořena i virtuální návodka, která manuálem popsané činnosti zcela odstraňuje a urychluje montáž sifonu [33].

	Vyhledání návodky v deskách [hod:min:sec]	Vyndání návodky z desek [hod:min:sec]	Nalistování stránky [hod:min:sec]	Příprava dílů [hod:min:sec]
Průměrný čas	0:00:16	0:00:12	0:00:16	0:01:20

Tabulka 6-1: Průměrné časy činností [33]

Samotná montáž dřezového sifonu probíhala následujícím způsobem. U každého studenta byly zaznamenány časové údaje, sdělující dobu montáže sifonu. Studenti měli k dispozici čtyři pokusy, při kterých sestavovali stejný typ sifonu. Jak sestavovali sifon při dalších pokusech, částečně si již pamatovali, které díly k sobě patří. S přibývajícimi pokusy tak docházelo ke zkracování času potřebného pro montáž. V Tabulce 6-2 jsou vypsány naměřené časové údaje jednotlivých dobrovolníků při sestavování sifonu podle papírové návodky [2].

Testovaný subjekt	Pohlaví	Věk	1. pokus [hod:min:sec]	2. pokus [hod:min:sec]	3. pokus [hod:min:sec]	4. pokus [hod:min:sec]
1. dobrovolník	žena	24	0:16:12	0:06:55	0:07:00	0:04:02
2. dobrovolník	žena	25	0:10:41	0:07:06	0:04:04	0:03:37
3. dobrovolník	muž	20	0:12:36	0:05:59	0:03:55	0:03:38
4. dobrovolník	žena	21	0:15:29	0:05:59	0:05:31	0:04:38
5. dobrovolník	muž	25	0:10:42	0:05:31	0:05:01	0:04:02
6. dobrovolník	muž	21	0:09:22	0:04:28	0:03:55	0:03:16
7. dobrovolník	muž	21	0:08:45	0:04:57	0:03:51	0:02:57
8. dobrovolník	muž	21	0:13:05	0:04:49	0:06:38	0:04:12
9. dobrovolník	muž	26	0:07:22	0:04:36	0:04:22	0:03:34
10. dobrovolník	žena	25	0:10:53	0:06:01	0:04:36	0:03:51
11. dobrovolník	žena	23	0:12:09	0:06:35	0:04:16	0:03:20
12. dobrovolník	muž	26	0:08:22	0:04:50	0:03:31	0:03:44

Tabulka 6-2: Naměřené hodnoty pro sestavování sifonu podle papírové návodky [33]

6.2 Data získaná z montáže dle virtuální návodky

Montáž dřezového sifonu podle virtuální návodky byla prováděna v dubnu 2017. Časového měření se opět účastnilo dvanáct jiných dobrovolníků různého pohlaví a věku mezi 20 – 40 lety. Účastníci byli zváni do laboratoře po jednom a měli znovu čtyři pokusy, jako při časovém měření podle papírové návodky.

V úvodu bylo dobrovolníkům představeno montáží pracoviště a v případě potřeby si mohli rozsvítit osvětlení nad stolem. Virtuální návodka, podle které měl účastník skládat dřezový sifon, běžela na monitoru vedle pracoviště. Na monitoru se vždy opakovala animace, co má účastník udělat a po provedení daného kroku musel účastník kliknout pravým tlačítkem myši na další krok animace. V případě návratu na předchozí krok musel účastník stisknout levé tlačítko myši [33].

Naměřené časy montáže sifonu dle virtuální návodky jsou znázorněny v Tabulce 6-3. K zaznamenaným hodnotám Ing. Fejfarová připočetla tři sekundy, což je stanovená doba pro naskenování kódu výrobku a spuštění návodky na displeji. Vytvořená virtuální návodka se spouštěla klasickým stisknutím tlačítka pro start. Ve velkých podnicích, ale nemají pouze jednu virtuální návodku, ale mají těchto návodků v systému více. Rychlý výběr potřebné návodky se proto většinou provádí prostřednictvím načtení čárového nebo QR kódu montážního výrobku. Jelikož pro testovací účely nebyla k dispozici čtečka kódu, byl tento problém vyřešen přičtením tří sekund, což je vyzpozorovaná průměrná hodnota načtení virtuální návodky v reálné firmě [33].

Testovaný subjekt	Pohlaví	Věk	1. pokus [hod:min:sec]	2. pokus [hod:min:sec]	3. pokus [hod:min:sec]	4. pokus [hod:min:sec]
1. dobrovolník	muž	28	0:05:34	0:03:58	0:03:28	0:03:19
2. dobrovolník	muž	40	0:07:42	0:06:28	0:03:53	0:03:33
3. dobrovolník	žena	26	0:05:41	0:03:29	0:02:33	0:02:06
4. dobrovolník	žena	25	0:06:41	0:04:38	0:03:00	0:02:55
5. dobrovolník	žena	22	0:06:42	0:04:50	0:04:52	0:02:32
6. dobrovolník	muž	20	0:07:10	0:04:15	0:03:11	0:02:55
7. dobrovolník	muž	20	0:07:45	0:05:37	0:05:18	0:03:41
8. dobrovolník	žena	20	0:06:58	0:04:36	0:03:20	0:02:57
9. dobrovolník	muž	21	0:05:18	0:03:38	0:02:35	0:02:25
10. dobrovolník	muž	21	0:07:16	0:04:16	0:03:31	0:02:26
11. dobrovolník	muž	21	0:07:14	0:03:23	0:03:48	0:02:33
12. dobrovolník	muž	21	0:06:50	0:04:59	0:04:19	0:03:58

Tabulka 6-3: Naměřené hodnoty pro sestavování sifonu podle virtuální návodky [33]

6.3 Doporučení pro rozšíření virtuální návodky

V práci je poukázáno na fakt, že při testování virtuální návodky na studentech, řada účastníků s obtížemi a časovými ztrátami hledala označení potřebných dílů k sestavení na KLT boxech. V některých případech dokonce vybrali špatný díl, který pak museli do boxu vrátit a použít jiný správný. Užití rozšířené reality k vytvoření podobné montážní návodky by tento problém mělo eliminovat. Studentovi by byly do snímaného obrazu pracoviště v jednotlivých krocích promítány virtuální šipky či osvětlení krabic, které by ho navádělo, kde se potřebný díl nachází. Mělo by tak ještě dojít k dalšímu časovému snížení na montáž dřezového sifonu, eliminaci možné chybovosti při užití špatných dílů a prohloubení časového rozdílu mezi virtuální a papírovou návodkou.

Z tohoto důvodu byla vytvořena virtuální návodka s naváděcími prvky, jak je popsáno v kapitole: 5 Tvorba vlastní návodky. Snahou návodky je navázat na předešlé výsledky a měření Ing. Fejfarové. Návodka, vytvořená pro tuto práci, obsahuje naváděcí prvky ve formě osvětlení pozic od projektoru. Projektor vždy v daném montážním kroku barevně osvětlí pozice, kde se nacházejí potřebné díly pro montáž.

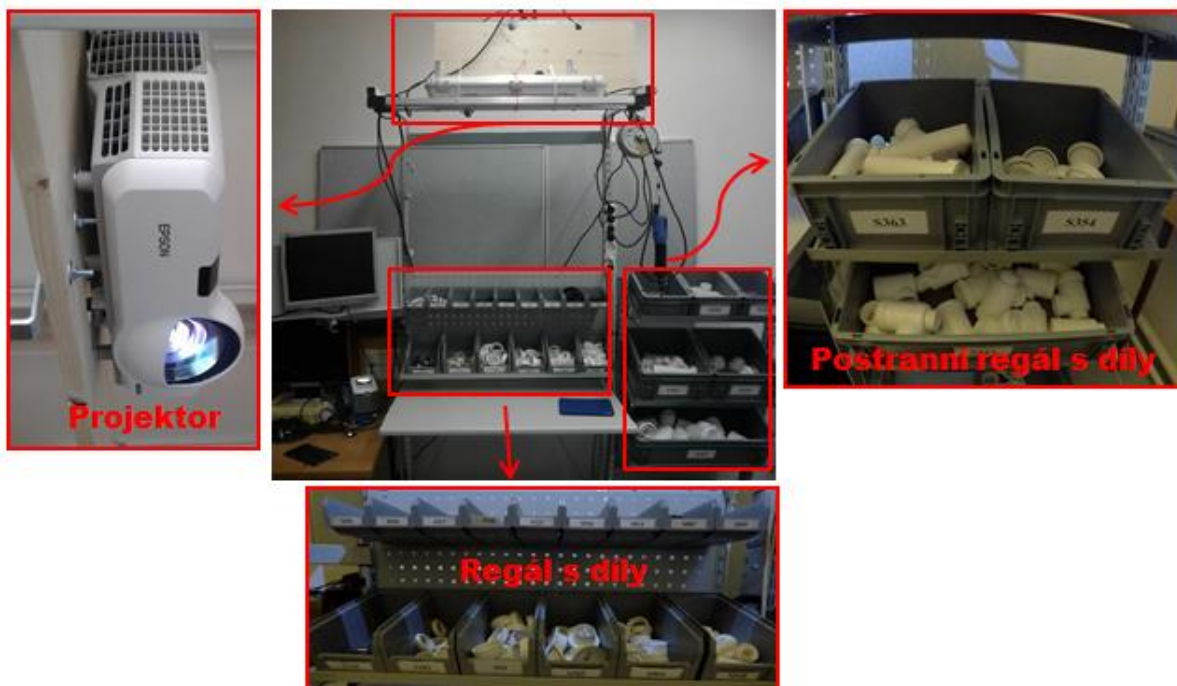
7. Montážní pracoviště pro testování návodky

Virtuální návodka pro montáž dřezového sifonu A441P byla testována v Laboratoři ergonomie a rozšířené reality v UK 310 na Západočeské univerzitě v Plzni. V laboratoři je zřízené pracoviště pro montáž různých druhů dřezových sifonů. Pro testovací účely této práce postačí vytvoření virtuální návodky pro jeden typ sifonu. Byl vybrán sifon A441P, pro který již v minulosti byla naměřena data sestavování dle papírového návodu a virtuálního návodu viz kapitola 6.

Pracoviště, jehož schéma můžete vidět na Obrázku 7.1, obsahuje montážní stůl s polohovací židlí a regál, kde jsou umístěny přepravy s potřebnými díly k montáži sifonu. V regálu nad deskou stolu je umístěno šest větších nakloněných přepravek a nad nimi je zavěšeno ještě devět menších přepravek. Vedle pracoviště je pojízdný regál na kolečkách, v němž jsou umístěny KLT boxy s většími díly.

Nad montážním stolem je usazen projektor a zářivka, které musely být nad stůl nově připevněny. Projektor je umístěn za dřevěnou deskou, k níž je uchycen pěti šrouby. Poloha projektoru byla vybrána tak, aby postupně osvětloval pozice přepravek pod ním a zároveň, aby nehrozilo zborcení celé konstrukce nad stolem. Před projektorem je ke konstrukci upevněna zářivka. Ta je otočena směrem ke stropu a zajišťuje mírné osvětlení montážního pracoviště, ale současně neomezuje osvětlení pozic od projektoru. Pracovník dobře vidí na sestavování dílů a zároveň tak nedochází ke snížení viditelnosti promítaného osvětlení na přepravy. Nad stolem je ještě zavěšen elektrický šroubovák, který pracovník při montáži použije k utahování šroubů.

Vlevo vedle stolu je uchycen monitor, sloužící k zobrazování interaktivních návodů pracovníkovi. Celé pracoviště je vybaveno z hlediska pohodlí a dostatečných pracovních podmínek ergonomickými prvky jako: protiskluzovou položku pod nohy, nakloněnými přepravkami směrem k pohledu pracovníka a již zmíněným elektrickým šroubovákem zavěšeným nad stolem.



Obrázek 7.1: Pohled na montážní pracoviště [vlastní tvorba]

8. Metodika testování návodky

Před testováním a časovým měřením návodky je zapotřebí si stanovit metodiku, podle které se bude postupovat. Je důležité, aby lidé, na kterých se bude návodka testovat, měli stejné podmínky a data z časových měření měla patřičnou vypovídací hodnotu a byla porovnatelná mezi sebou.

Vytvořená návodka pro montáž dřezového sifonu A441P bude testována na větší skupině osob, přibližně asi patnácti, aby výsledky mohly být považovány za dostatečně relevantní. Skupinou testovaných osob budou studenti, ve věkovém rozmezí 20 až 25 let z fakulty ekonomické a strojní Západočeské univerzity v Plzni. Přesněji se bude jednat o studenty, kteří mají zapsaný předmět Průmyslové inženýrství. V rámci jeho náplně se zúčastní testování virtuální návodky.

Testování bude probíhat v Laboratoři ergonomie a rozšířené reality označené fakultou jako UK 310. Zde budou uživatelé skládat na připraveném pracovišti daný sifon podle návodky zobrazované na monitoru u pracoviště a podle rozsvěcení pozic potřebných dílů od projektoru. Před započítáním montáže měření studenti vyplní jednoduchý formulář, jenž je znázorněn v Tabulce 8-1. Student ve formuláři vyplní informace o svém věku, pohlaví, fakultě, výšce a jeho manuální zručnosti. Po vyplnění svých informací budou studenti poučeni o obsluze návodky a to: jak se spouští, přepíná i vrací daný krok, a jak se návodka vypíná po jejím dokončení. Studenti budou také informováni o předem definovaných podmínkách, při kterých budou dřezový sifon sestavovat. Montáž u všech studentů bude probíhat ve stoje, za umělého osvětlení od zářivky nad pracovištěm.

Testovaný subjekt	Pohlaví	Věk	Fakulta	Výška [cm]	Manuální zručnost (1 = nadprůměrná, 2 = průměrná, 3 = podprůměrná)
1. dobrovolník					
2. dobrovolník					

Tabulka 8-1: Formulář k získání informací o testovaném subjektu [vlastní tvorba]

Samotné časové měření montáže dřezového sifonu bude zahájeno po stisknutí tlačítka play, kdy se i zobrazí na monitoru první animace, a ukončeno bude po stisknutí tlačítka stop. Pro účely měření byl do návodky přidán kód pro časovač, který běží na pozadí celé scény, aby montážního pracovníka zbytečně nestresoval při kompletaci. Po ukončení celého měření se v připravené složce projektu *Logs*, vytvoří soubor obsahující časové údaje, které uživatel potřeboval k dokončení daného kroku podle návodky. Časovač tedy neměří délku celé montáže, ale časový údaj od načtení animace vybraného kroku, až po stisknutí tlačítka pro zobrazení dalšího kroku. Pokud se tedy uživatel nevrací o krok zpět, obsahuje soubor jedenácti časových údajů. V případě, že pracovník udělal chybu a vrací se o krok zpět, je v souboru založen nový řádek a u opakovaného kroku jsou zaznamenány dva časové údaje. Kód časovače je napsán tak, aby ukládal časové údaje do souboru s koncovkou *.csv*, jenž lze otevřít v programu Microsoft Office Excel. Časové údaje se tedy nebudou muset pracně přepisovat do Excelu, ale může se s nimi rovnou pracovat. K ověření správnosti údajů byly při prvních měření použity stopky, abychom měli jistotu, že údaje z časovače jsou korektní.

Z důvodu zjištění náběhového cyklu (uživatel bude vědět kam sáhnout a co s danými součástkami má dělat). Již nebude doslova závislý na návodce. Montáž bude opakována ve více pokusech. Jako optimální množství pokusů bylo před zahájením testování stanoveno číslo šest. Toto číslo se zdá být dostačující pro ustálení časů potřebných k montáži dřezového

sifonu. V případě, že by stále docházelo k rapidnímu snížení časů i při šestém pokusu (v řádu desítek sekund), bude počet pokusů navýšen.

Výsledné časy pokusů budou seskupeny do jednoho excelového souboru, který bude přiložen k elektronické verzi práce. V souboru budou zaznamenány všechny časy měření kompletace sifonu a budou zde vypočítány průměrné časy kompletace v každém pokusu. Tyto průměrné časy budou porovnány s průměrnými časy montáže dřezového sifonu podle jiných typů návodek. K dispozici máme data z loňských měření montáže podle papírové návodky a virtuální návodky bez osvětlení pozic viz kapitola 6. Snahou práce je porovnat časové údaje naměřené v této práci s údaji montáže podle papírové návodky. Naměřené časy by měly být výrazně nižší než u papírové návodky a k snížení by mělo dojít i v případě virtuální návodky bez osvětlení.

9. Testování vlastní virtuální návodky

Před zahájením měření montáže dřezového sifonu studenty, byla nejprve virtuální návodka otestována pracovníkem katedry Ing. Jiřím Polcarem. Došlo tak k ověření, že podle návodky lze bezproblémově sestavit dřezový sifon a všechny osvětlované pozice jsou v daném kroku správně umístěny. Díky tomuto prvotnímu testu virtuální návodky se mohlo přejít k samotnému měření montáže sifonu studenty.

Měření montáže probíhalo ve dvou dnech v měsíci dubnu. V prvním dnu testování byly naměřeny hodnoty od třech studentů, kteří byli vypůjčeni ze cvičení Průmyslového inženýrství. Druhé testování probíhalo po celý den a opět byli studenti vypůjčeni celkem z pěti, po sobě jdoucích cvičení Průmyslového inženýrství. Za tento den se povedlo naměřit časy montáže celkem u dvanácti studentů. Výsledné časy a informace o průběhu měření jsou popsány v následujících podkapitolách 9.1 a 9.2.

K naměřeným výsledným časům jsou ještě přičteny tři sekundy, jelikož data naměřená Ing. Fejfarovou už v sobě mají tento čas započítaný. Tři sekundy představují dobu, která uplyne od naskenování čárového nebo QR kódu pracovníkem po načtení návodky na monitoru pracoviště v reálném podniku. V našem případě se virtuální návodka spouští stejně, jako návodka Ing. Fejfarové stisknutím tlačítka play. Proto, aby porovnávané hodnoty měly stejné vypovídající údaje, jsou ke všem výsledným časům přičteny tři sekundy.

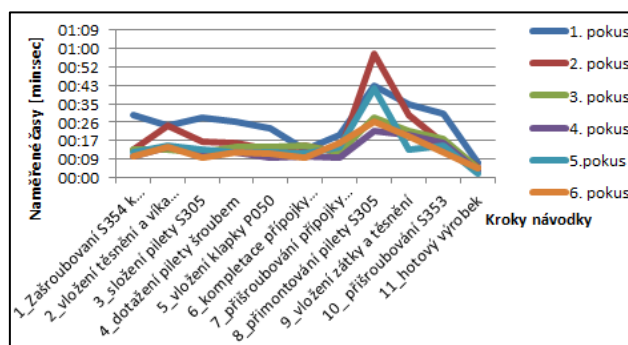
9.1 Měření číslo jedna

První měření probíhalo 4. dubna 2018. Měření se celkem zúčastnili tři studenti, z toho dva muži a jedna žena. Každý z nich provedl kompletaci sifonu šestkrát po sobě.

1. dobrovolník

Prvním dobrovolníkem byl 23letý muž z ekonomické fakulty. Ve formuláři uvedl svoji výšku 190 cm a manuální zručnost průměrnou. Při prvním a druhém pokusu v kroku 8 vložil do dílu S363 pouze těsnění, už si však nevšiml, že animace pokračuje a má v tomto kroku ještě přišroubovat piletu S305. Proto mu v konečném kroku zbyla na stole a on se musel ke kroku 8 vracet a piletu zpětně přišroubovat. Od třetího pokusu už na piletu S305 pamatoval. Při prvních dvou pokusech mu také v kroku 7 vypadl díl P050, který musel do kompletu S363 znovu vracet.

Při pátém pokusu došlo k mírnému zhoršení času, jelikož opět v kroku 8 nastaly problémy a to se špatně vloženým těsněním S323. Musel proto vložení těsnění opravit, což vedlo k mírnému časovému zdržení. Výsledné naměřené časy jsou znázorněny v Tabulce 9-1 a časový průběh jednotlivých kroků je zobrazen v Grafu 9-1.



Graf 9-1: Časový průběh jednotlivých pokusů u 1. dobrovolníka [vlastní tvorba]

	1. pokus	2. pokus	3. pokus	4. pokus	5. pokus	6. pokus
naskenování kódu návodky + 3s	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03
1_zašroubování S354 k S353	00:29	00:13	00:13	00:10	00:12	00:10
2_vložení těsnění a víka ke S353	00:24	00:24	00:13	00:14	00:15	00:14
3_složení pilety S305	00:28	00:17	00:12	00:12	00:13	00:09
4_dotažení pilety šroubem	00:26	00:16	00:14	00:12	00:12	00:12
5_vložení klapky P050	00:23	00:13	00:14	00:09	00:12	00:11
6_kompletace přípojky S048	00:13	00:15	00:15	00:10	00:11	00:09
7_přišroubování přípojky k S363	00:20	00:12	00:12	00:09	00:14	00:16
8_přimontování pilety S305	00:43	00:58	00:28	00:22	00:42	00:26
9_vložení zátky a těsnění	00:34	00:29	00:22	00:20	00:13	00:19
10_přišroubování S353	00:30	00:16	00:18	00:16	00:15	00:12
11_hotový výrobek	00:07	00:05	00:04	00:03	00:02	00:04
Součet	04:40	03:41	02:48	02:20	02:44	02:25

Tabulka 9-1: Naměřené hodnoty u 1. dobrovolníka [vlastní tvorba]

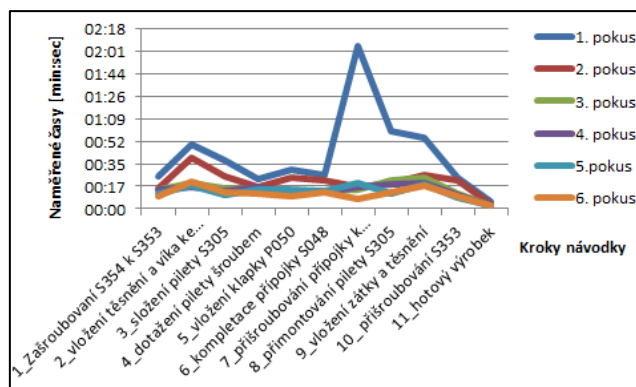
2. dobrovolník

Druhým dobrovolníkem byla 22letá žena, také z ekonomické fakulty. Ve formuláři vyplnila svoji výšku 174 cm a manuální zručnost jako podprůměrnou. Žena byla při prvních dvou pokusech značně nervózní a vyplašená. Při montování postupovala pomalu a obezřetně, proto její první pokus byl z toho dne nejpomalejší. Spíše než na osvětlení pozic koukala po označení dílů, osvětlení při prvních pokusech moc nevěřila. Od třetího pokusu už působila uvolněně, řídila se osvětlením a již věděla, co k sobě má smontovat.

Jediný problém, který u ní nastal, byl při prvním pokusu v kroku 5, kdy jí nešel nasadit díl P050 do drážky. V kroku 7, kde pak měla přišroubovat přípojku k S363 zjistila, že ji přípojka nelze zašroubovat, jelikož díl P050 není zasazen v drážce. Došlo zde tedy k mírnému zdržení. V následujících pokusech už díl P050 nasazovala do drážky správně. Výsledné naměřené časy a jejich průběh je znázorněn v Tabulce 9-2 a Grafu 9-2.

	1. pokus	2. pokus	3. pokus	4. pokus	5. pokus	6. pokus
naskenování kódu návodky + 3s	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03
1_zašroubování S354 k S353	00:25	00:16	00:15	00:15	00:12	00:10
2_vložení těsnění a víka ke S353	00:49	00:39	00:20	00:17	00:18	00:21
3_složení pilety S305	00:37	00:25	00:16	00:14	00:11	00:13
4_dotažení pilety šroubem	00:23	00:17	00:15	00:17	00:15	00:12
5_vložení klapky P050	00:30	00:24	00:14	00:13	00:15	00:10
6_kompletace přípojky S048	00:26	00:22	00:14	00:13	00:14	00:13
7_přišroubování přípojky k S363	02:05	00:17	00:15	00:17	00:20	00:08
8_přimontování pilety S305	01:00	00:20	00:22	00:19	00:12	00:13
9_vložení zátky a těsnění	00:54	00:26	00:24	00:20	00:19	00:18
10_přišroubování S353	00:24	00:22	00:12	00:11	00:09	00:10
11_hotový výrobek	00:05	00:03	00:02	00:02	00:02	00:02
Součet	07:41	03:54	02:52	02:41	02:30	02:13

Tabulka 9-2: Naměřené hodnoty u 2. dobrovolníka [vlastní tvorba]



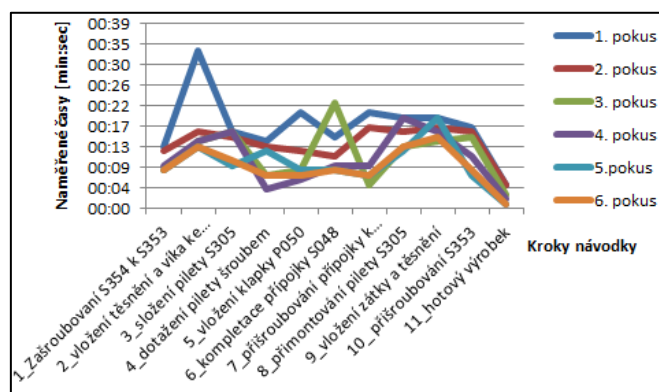
Graf 9-2: Časový průběh jednotlivých pokusů u 2. dobrovolníka [vlastní tvorba]

3. dobrovolník

Třetím dobrovolníkem toho dne byl 25letý muž, vysoký 199 cm, z ekonomické fakulty. I když do formuláře napsal, že má manuální zručnost průměrnou, bylo při jeho montáži znát, že je velmi zručný. První pokus složil nejrychleji ze všech měřených studentů za 3 minuty a 14 sekund. Zároveň i jeho poslední pokus byl nejrychlejší ze všech účastníků. Čas byl 1 minuta a 40 sekund. Student vůbec nepůsobil nervózně, spíše naopak si montáž užíval. Při montáži v prvním pokusu mu vypadl v kroku 7 díl P050, potom už si na tento krok dával pozor a díl více domačkával do součásti. Ostatní pokusy byly bez jakýchkoliv komplikací a ztrat časů. Všechny zaznamenané hodnoty jsou znázorněny v Tabulce 9-3 a Grafu 9-3.

	1. pokus	2. pokus	3. pokus	4. pokus	5. pokus	6. pokus
naskenování kódu návodky + 3s	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03
1_zašroubování S354 k S353	00:13	00:12	00:08	00:09	00:08	00:08
2_vložení těsnění a víka ke S353	00:33	00:16	00:14	00:14	00:13	00:13
3_složení pilety S305	00:16	00:15	00:16	00:16	00:09	00:10
4_dotažení pilety šroubem	00:14	00:13	00:07	00:04	00:12	00:07
5_vložení klapky P050	00:20	00:12	00:08	00:06	00:08	00:07
6_kompletace přípojky S048	00:15	00:11	00:22	00:09	00:08	00:08
7_přišroubování přípojky k S363	00:20	00:17	00:05	00:09	00:07	00:07
8_přimontování pilety S305	00:19	00:16	00:13	00:19	00:12	00:13
9_vložení zátky a těsnění	00:19	00:17	00:14	00:16	00:19	00:15
10_přišroubování S353	00:17	00:16	00:15	00:11	00:07	00:08
11_hotový výrobek	00:05	00:05	00:03	00:02	00:01	00:01
Součet	03:14	02:33	02:08	01:58	01:47	01:40

Tabulka 9-3: Naměřené hodnoty u 3. dobrovolníka [vlastní tvorba]



Graf 9-3: Časový průběh jednotlivých pokusů u 3. dobrovolníka [vlastní tvorba]

9.2 Měření číslo dva

Druhé měření probíhalo 5. dubna 2018. Měření se zúčastnilo dvanáct studentů, z nichž byly tři studentky ženy, zbytek byli muži. Každý z nich provedl kompletaci sifonu šestkrát po sobě.

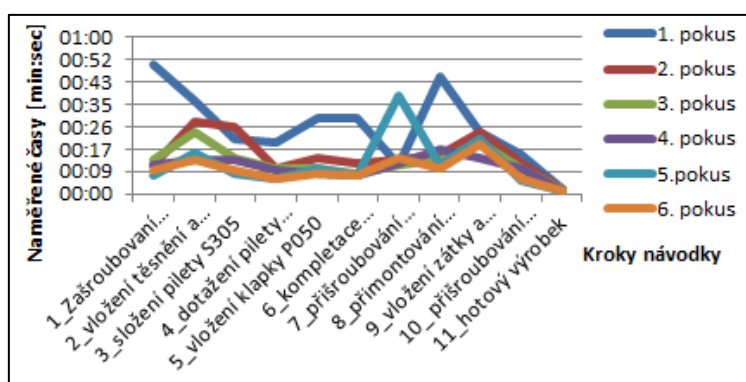
4. dobrovolník

Čtvrtým dobrovolníkem byla žena ve věku 21 let ze strojní fakulty. Žena byla vysoká 175 cm a svou manuální zručnost ohodnotila jako podprůměrnou. Studentka první pokus zahájila pomaleji, koukala na jednotlivé označení dílů, než na osvětlení. V kroku 6 vkládala těsnění obráceně, po upozornění si lépe prohlédla animaci a těsnění otočila. V kroku 8 zapoměla přišroubovat piletu S305, kterou šroubovala až na konec, když se ke kroku musela vrátit.

Při pátém pokusu došlo k nárůstu času, neboť studentce nešla přišroubovat přípojka a poté ji vypadl díl P050. Po opětovném vložení dílu P050 do kompletu se jí již povedlo přípojku k dílu S363 přišroubovat. V šestém pokusu žádné komplikace nenastaly a došlo tak znovu k úbytku času na montáž. Výsledné hodnoty jsou znázorněné v Tabulce 9-4 a Grafu 9-4.

	1. pokus	2. pokus	3. pokus	4. pokus	5. pokus	6. pokus
naskenování kódu návodky + 3s	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03
1_zašroubování S354 k S353	00:50	00:11	00:13	00:11	00:07	00:09
2_vložení těsnění a víka ke S353	00:36	00:28	00:24	00:13	00:16	00:13
3_složení pilety S305	00:21	00:26	00:14	00:13	00:08	00:09
4_dotažení pilety šroubem	00:20	00:10	00:10	00:09	00:06	00:06
5_vložení klapky P050	00:29	00:14	00:10	00:08	00:10	00:08
6_kompletace přípojky S048	00:29	00:12	00:08	00:07	00:07	00:07
7_příšroubování přípojky k S363	00:11	00:13	00:11	00:12	00:38	00:14
8_přimontování pilety S305	00:45	00:15	00:13	00:17	00:11	00:10
9_vložení zátky a těsnění	00:24	00:24	00:20	00:14	00:21	00:19
10_příšroubování S353	00:15	00:12	00:10	00:10	00:05	00:06
11_hotový výrobek	00:02	00:02	00:02	00:01	00:01	00:01
Součet	04:45	02:50	02:18	01:58	02:13	01:45

Tabulka 9-4: Naměřené hodnoty u 4. dobrovolníka [vlastní tvorba]



Graf 9-4: Časový průběh jednotlivých pokusů u 4. dobrovolníka [vlastní tvorba]

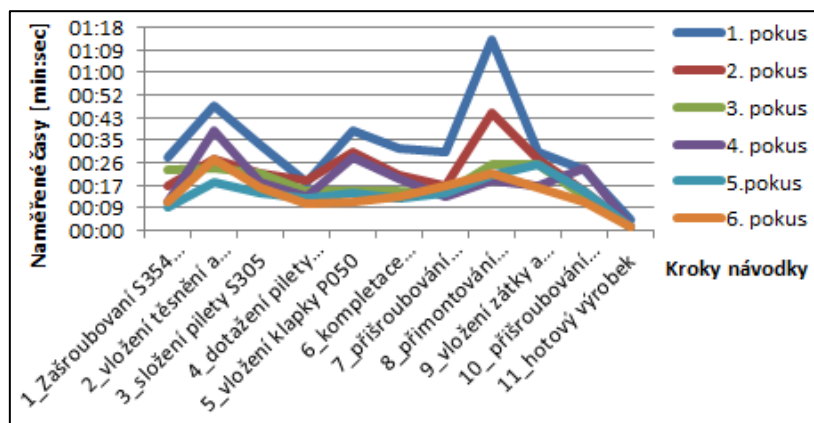
5. dobrovolník

Dalším studentem byl muž ve věku 21 let ze strojní fakulty. Jeho výška byla 180 cm a manuální zručnost si napsal jako průměrnou. Během prvního pokusu postupoval pomalu, detailně si prohlížel animace na monitoru. Mnohdy se na animaci požíval raději dvakrát za sebou, než začal dané díly skládat. V prvním pokusu měl problémy v kroku 7, kdy mu vypadl špatně zasunutý díl P050 a v kroku 8, kdy se mu nedařilo správně vkládat těsnění do matice. Těsnění S323 vkládal nejprve do drážky, ze které si ho pak posunem matice vyhodil ven. Tento postup se opakoval i u druhého pokusu, při kterém mu došlo, že je vhodné si matici nejprve vysunout a pak do ní vložit těsnění. V dalších pokusech již tento postup uplatňoval a došlo tak k výraznějšímu snížení montážního času.

Jelikož byl student trochu nervózní, upadla mu při čtvrtém pokusu v druhém kroku součástka na zem, což ho chvíli zdrželo, než ji zvedl. Při pátém pokusu už bylo na studentovi znát, že ví, jak díly kompletovat a kde je najít. Proto časy těchto pokusů jsou nejkratší. Naměřené hodnoty studenta jsou znázorněny v Tabulce 9-5 a Grafu 9-5.

	1. pokus	2. pokus	3. pokus	4. pokus	5. pokus	6. pokus
naskenování kódu návody + 3s	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03
1_ zašroubování S354 k S353	00:28	00:17	00:23	00:11	00:09	00:11
2_ vložení těsnění a víka ke S353	00:48	00:27	00:24	00:38	00:18	00:27
3_ složení pilety S305	00:33	00:22	00:22	00:18	00:14	00:16
4_ dotažení pilety šroubem	00:18	00:19	00:15	00:13	00:12	00:10
5_ vložení klapky P050	00:38	00:30	00:15	00:28	00:14	00:11
6_ kompletace přípojky S048	00:31	00:21	00:15	00:20	00:12	00:13
7_ přišroubování přípojky k S363	00:30	00:17	00:14	00:13	00:14	00:17
8_ přimontování pilety S305	01:13	00:45	00:25	00:19	00:21	00:22
9_ vložení zátky a těsnění	00:30	00:27	00:25	00:17	00:25	00:16
10_ přišroubování S353	00:23	00:15	00:13	00:24	00:15	00:11
11_ hotový výrobek	00:04	00:01	00:01	00:01	00:01	00:01
Součet	05:59	04:04	03:15	03:25	02:38	02:38

Tabulka 9-5: Naměřené hodnoty u 5. dobrovolníka [vlastní tvorba]



Graf 9-5: Časový průběh jednotlivých pokusů u 5. dobrovolníka [vlastní tvorba]

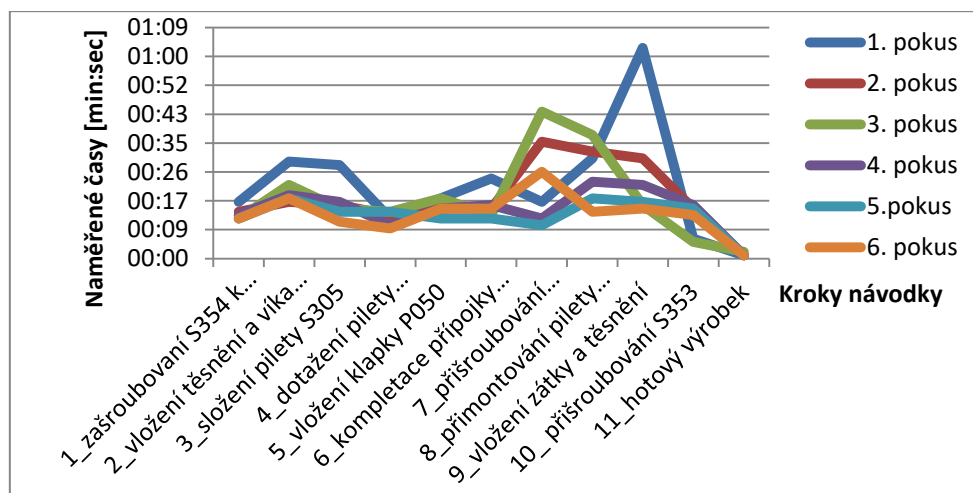
6. dobrovolník

Šestý dobrovolník byl muž ze strojní fakulty ve věku 21 let. Jeho výška byla 197 cm a manuální zručnost průměrná. Muž hned z počátku nasadil rychlé montážní tempo. Problémy mu dělaly kroky 7 a 8. Při prvním pokusu v osmém kroku zapomněl přišroubovat piletu S305, kterou musel v konečném kroku došroubovat. Podobný problém se opakoval i u třetího pokusu. Potom již na piletu pamatoval a i těsnění vkládal do dílu S363 rychleji. Při druhém, třetím a šestém pokusu mu v kroku 7 vypadla klapka P050, kterou musel do dílu S363 vkládat znovu.

Díky tomuto problému také došlo k mírnému nárůstu času v posledním šestém pokusu. Od třetího pokusu už bylo na dobrovolníkovi znát, že si pamatuje, kam má sáhnout, a jak dané díly smontovat. Všechny zaznamenané časy jsou vypsány v Tabulce 9-6 a průběh jednotlivých pokusů je vykreslen v Grafu 9-6.

	1. pokus	2. pokus	3. pokus	4. pokus	5. pokus	6. pokus
naskenování kódu návody + 3s	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03
1_zašroubování S354 k S353	00:17	00:14	00:12	00:13	00:12	00:12
2_vložení těsnění a víka ke S353	00:29	00:17	00:22	00:19	00:18	00:18
3_složení pilety S305	00:28	00:16	00:15	00:17	00:14	00:11
4_dotažení pilety šroubem	00:12	00:13	00:14	00:10	00:14	00:09
5_vložení klapky P050	00:18	00:15	00:18	00:15	00:12	00:15
6_kompletace přípojky S048	00:24	00:15	00:13	00:16	00:12	00:15
7_příšroubování přípojky k S363	00:17	00:35	00:44	00:12	00:10	00:26
8_přimontování pilety S305	00:30	00:32	00:37	00:23	00:18	00:14
9_vložení zátky a těsnění	01:03	00:30	00:16	00:22	00:17	00:15
10_příšroubování S353	00:06	00:15	00:05	00:16	00:15	00:13
11_hotový výrobek	00:01	00:01	00:02	00:01	00:01	00:01
Součet	04:08	03:26	03:21	02:47	02:26	02:32

Tabulka 9-6: Naměřené hodnoty u 6. dobrovolníka [vlastní tvorba]



Graf 9-6: Časový průběh jednotlivých pokusů u 6. dobrovolníka [vlastní tvorba]

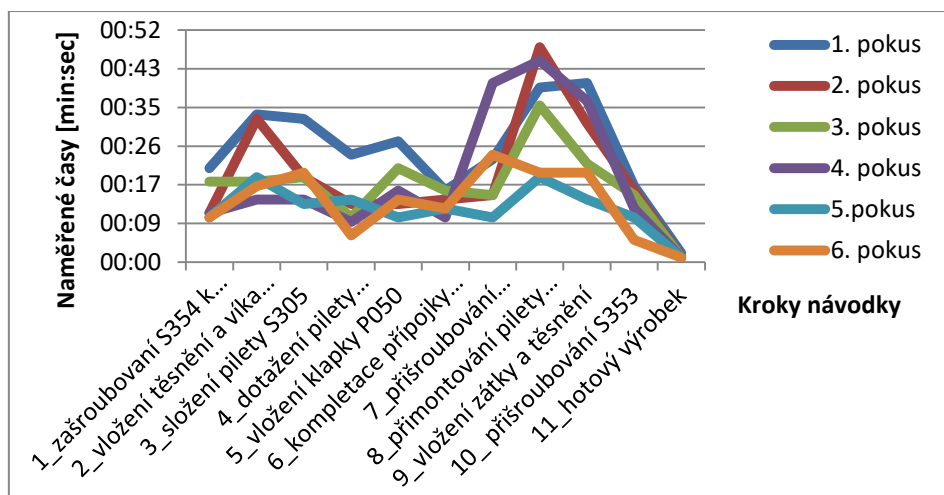
7. dobrovolník

Sedmým dobrovolníkem byl opět muž ze strojní fakulty ve věku 21 let. Výška muže byla 190 cm a jeho manuální zručnost byla průměrná. Muži největší problém činil krok 8, kdy vkládal těsnění do připravené drážky, a při utahování pilety si ho vždy maticí vysunul ven z drážky. Při pátém pokusu přišel na to, že nejlepší bude, si nejprve matici připravit ke šroubování, poté do ní vložit těsnění a pak přišroubovat piletu S305.

Ve čtvrtém pokusu u muže došlo k nárůstu času, neboť mu v kroku 7 vypadla klapka P050 a v kroku 9 nasadil obráceně těsnění, které musel po upozornění obrátit a nasadit správně. V posledním šestém pokusu došlo opět k nárůstu času, zapříčiněným vypadnutím klapky P050 z dílu S363. Nejlepším časem tohoto dobrovolníka byl proto jeho pátý pokus, kdy sifon zkompletoval za dvě minuty a patnáct sekund. V Tabulce 9-7 jsou vypsány časy kompletace a v Grafu 9-7 je znázorněn časový průběh montáže.

	1. pokus	2. pokus	3. pokus	4. pokus	5. pokus	6. pokus
naskenování kódu návodky + 3s	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03
1_zašroubování S354 k S353	00:21	00:11	00:18	00:11	00:10	00:10
2_vložení těsnění a víka ke S353	00:33	00:32	00:18	00:14	00:19	00:17
3_složení pilety S305	00:32	00:19	00:19	00:14	00:13	00:20
4_dotažení pilety šroubem	00:24	00:13	00:10	00:09	00:14	00:06
5_vložení klapky P050	00:27	00:13	00:21	00:16	00:10	00:14
6_kompletace přípojky S048	00:16	00:14	00:16	00:10	00:12	00:12
7_přišroubování přípojky k S363	00:23	00:15	00:15	00:40	00:10	00:24
8_přimontování pilety S305	00:39	00:48	00:35	00:45	00:19	00:20
9_vložení zátky a těsnění	00:40	00:31	00:22	00:36	00:14	00:20
10_přišroubování S353	00:17	00:16	00:15	00:12	00:10	00:05
11_hotový výrobek	00:02	00:01	00:01	00:01	00:01	00:01
Součet	04:37	03:36	03:13	03:31	02:15	02:32

Tabulka 9-7: Naměřené hodnoty u 7. dobrovolníka [vlastní tvorba]



Graf 9-7: Časový průběh jednotlivých pokusů u 7. dobrovolníka [vlastní tvorba]

8. dobrovolník

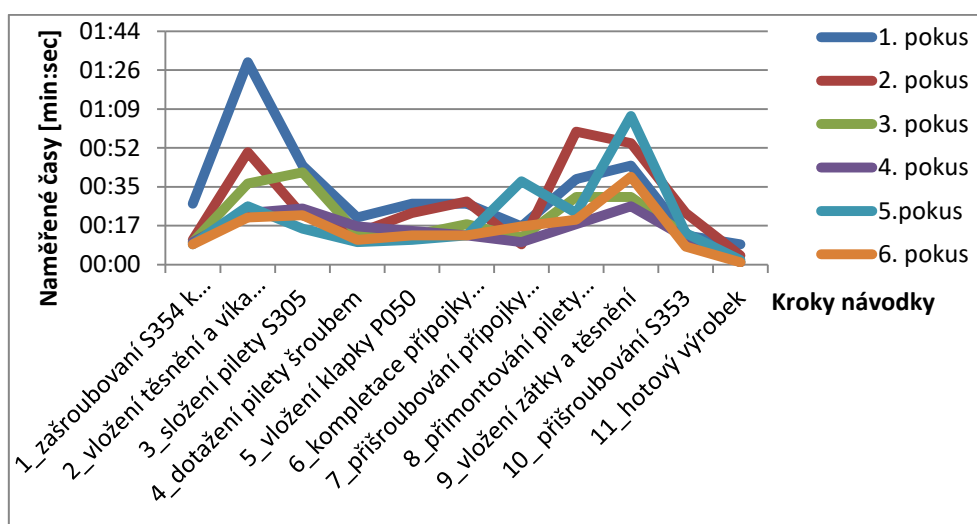
Dobrovolníkem číslo osm byl 21letý muž ze strojní fakulty. Muž do formuláře vyplnil výšku 187 cm a průměrnou manuální zručnost. Dobrovolník při prvním pokusu montáže dlouze pozoroval animace, co má v ukazovaném kroku dělat. U druhého a třetího kroku vkládal těsnění v jiném pořadí, než viděl v animaci, proto se v těchto krocích značně zdržel. Hotový výrobek pak musel po upozornění opravit, aby vývody sifonu byly správně orientovány.

Muž byl při měření dost nervózní, proto ve druhém a třetím pořadí dělal chyby v druhém a třetím kroku. Při čtvrtém pokusu už bylo poznat, že se drobet uklidnil, a tak je tento pokus nejrychlejší. V dalším pokusu ale udělal opět mnoho chyb. Například mu v kroku 7 vypadla klapka P050, v kroku 8 zapomněl přišroubovat piletu S305, kterou přišrouboval až nakonec a v kroku 9 vložil obráceně těsnění, které musel po upozornění otočit.

Jeho výsledné časy byly oproti ostatním dobrovolníkům pomalejší. Za jejich příčinu lze považovat nervozitu muže. Naměřené časy jsou znázorněny v Tabulce 9-8 a Grafu 9-8.

	1. pokus	2. pokus	3. pokus	4. pokus	5. pokus	6. pokus
naskenování kódu návody + 3s	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03
1_zašroubování S354 k S353	00:27	00:11	00:10	00:10	00:09	00:09
2_vložení těsnění a víka ke S353	01:30	00:50	00:36	00:23	00:26	00:21
3_složení pilety S305	00:44	00:22	00:41	00:25	00:16	00:22
4_dotažení pilety šroubem	00:21	00:14	00:14	00:17	00:10	00:11
5_vložení klapky P050	00:27	00:23	00:13	00:15	00:11	00:13
6_kompletace přípojky S048	00:27	00:28	00:18	00:13	00:13	00:13
7_příšroubování přípojky k S363	00:17	00:09	00:12	00:10	00:37	00:17
8_přimontování pilety S305	00:38	00:59	00:30	00:18	00:23	00:20
9_vložení zátky a těsnění	00:44	00:54	00:30	00:26	01:06	00:39
10_příšroubování S353	00:13	00:23	00:13	00:12	00:14	00:08
11_hotový výrobek	00:09	00:04	00:01	00:01	00:02	00:01
Součet	06:00	05:00	03:41	02:53	03:50	02:57

Tabulka 9-8: Naměřené hodnoty u 8. dobrovolníka [vlastní tvorba]



Graf 9-8: Časový průběh jednotlivých pokusů u 8. dobrovolníka [vlastní tvorba]

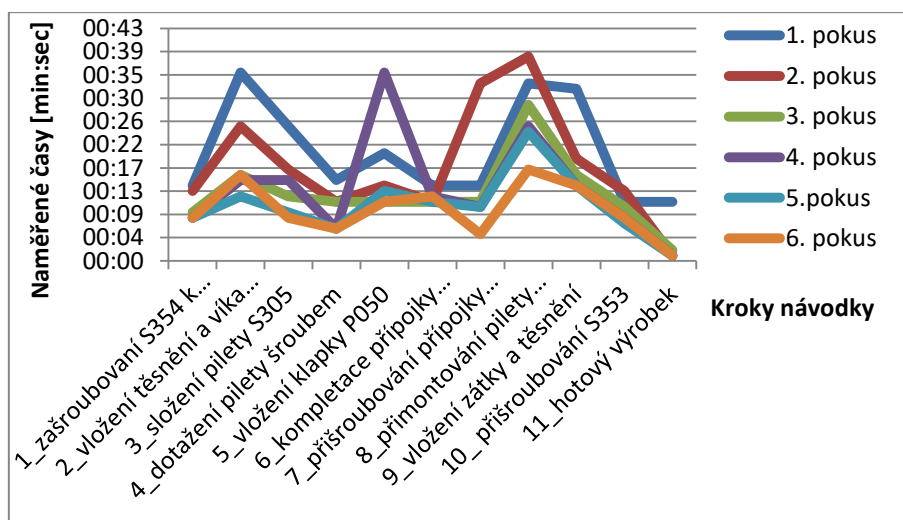
9. dobrovolník

Devátý dobrovolník byl muž ze strojní fakulty ve věku 20 let. Výška muže byla 189 cm a jeho manuální zručnost byla průměrná. Muž první pokus zvládl vcelku dost rychle, u žádného kroku se dlouho nezdržel. V posledním kroku byl upozorněn na správnou orientaci vývodů, kterou musel opravit.

Při druhém pokusu mu vypadl v kroku 7 díl P050, který musel do dílu S363 vkládat znovu. Od třetího pokusu již postupoval rychle, na návodku se už moc neřídil. Ve čtvrtém pokusu došlo k mírnému zdržení, jelikož muži nešla vložit klapka P050 do dílu S363. V dalších pokusech už žádné komplikace nenastaly. Dobrovolník dosáhl druhého nejrychlejšího času kompletace drezového sifonu z patnácti měřených dobrovolníků. Výsledné časy a průběh montáže v jednotlivých krocích jsou k dispozici v Tabulce 9-9 a Grafu 9-9.

	1. pokus	2. pokus	3. pokus	4. pokus	5. pokus	6. pokus
naskenování kódu návody + 3s	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03
1_zašroubování S354 k S353	00:14	00:13	00:09	00:08	00:08	00:08
2_vložení těsnění a víka ke S353	00:35	00:25	00:16	00:15	00:12	00:16
3_složení pilety S305	00:25	00:17	00:12	00:15	00:09	00:08
4_dotažení pilety šroubem	00:15	00:11	00:11	00:06	00:06	00:06
5_vložení klapky P050	00:20	00:14	00:11	00:35	00:13	00:11
6_kompletace přípojky S048	00:14	00:11	00:11	00:12	00:11	00:12
7_přišroubování přípojky k S363	00:14	00:33	00:11	00:10	00:10	00:05
8_přimontování pilety S305	00:33	00:38	00:29	00:25	00:24	00:17
9_vložení zátky a těsnění	00:32	00:19	00:16	00:14	00:14	00:14
10_přišroubování S353	00:11	00:13	00:10	00:08	00:07	00:08
11_hotový výrobek	00:11	00:01	00:02	00:01	00:01	00:01
Součet	03:47	03:18	02:21	02:32	01:58	01:49

Tabulka 9-9: Naměřené hodnoty u 9. dobrovolníka [vlastní tvorba]



Graf 9-9: Časový průběh jednotlivých pokusů u 9. dobrovolníka [vlastní tvorba]

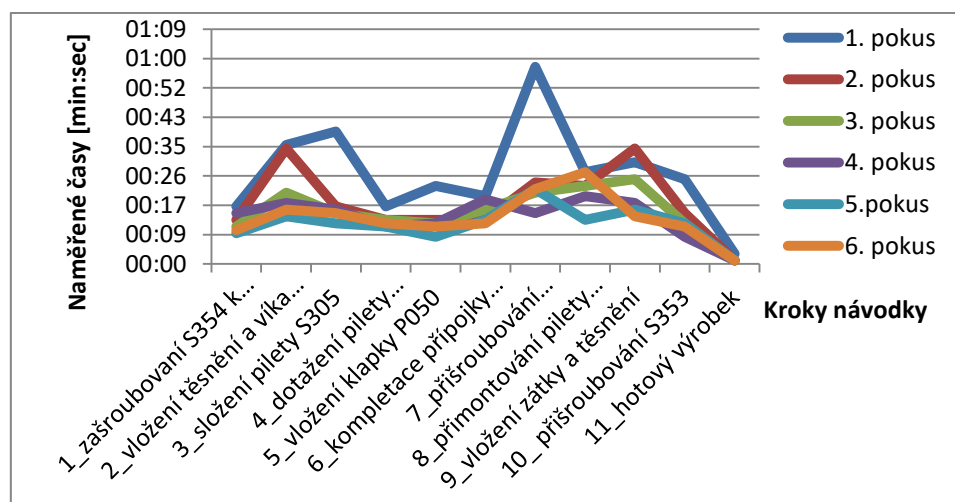
10. dobrovolník

Desátým dobrovolníkem byl 21letý muž ze strojní fakulty, s výškou 182 cm a průměrnou manuální zručností. Muž při prvním pokusu postupoval pomalu a pozorně sledoval animace, proto nedošlo k žádné chybě a zdržení. Při druhém pokusu v kroku 9 zapomněl na těsnění S516. Musel tedy již vložená těsnění sundat a krok opakovat. Další zdržení pak nastala při třetím a pátém pokusu, kdy student špatně domáčkkl klapku P050 a ta mu v kroku 7 vypadla.

K mírnému nárůstu času došlo v posledním šestém pokusu, kdy muž v osmém kroku špatně nasadil těsnění do dílu S363 a nešla mu zašroubovat pileta S305. Po vyndání těsnění a opětovném správném nasazení těsnění se podařilo piletu zašroubovat. Časy montáže dobrovolníka a průběh jeho kompletace je znázorněn v Tabulce 9-10 a Grafu 9-10.

	1. pokus	2. pokus	3. pokus	4. pokus	5. pokus	6. pokus
naskenování kódu návody + 3s	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03
1_zašroubování S354 k S353	00:17	00:13	00:11	00:15	00:09	00:10
2_vložení těsnění a víka ke S353	00:35	00:34	00:21	00:18	00:14	00:16
3_složení pilety S305	00:39	00:17	00:15	00:16	00:12	00:15
4_dotažení pilety šroubem	00:17	00:13	00:13	00:11	00:11	00:12
5_vložení klapky P050	00:23	00:13	00:12	00:12	00:08	00:11
6_kompletace přípojky S048	00:20	00:13	00:16	00:19	00:13	00:12
7_přišroubování přípojky k S363	00:58	00:24	00:21	00:15	00:22	00:22
8_přimontování pilety S305	00:27	00:23	00:23	00:20	00:13	00:27
9_vložení zátky a těsnění	00:30	00:34	00:25	00:18	00:16	00:14
10_přišroubování S353	00:25	00:15	00:12	00:08	00:12	00:11
11_hotový výrobek	00:03	00:01	00:01	00:01	00:01	00:01
Součet	04:57	03:23	02:53	02:36	02:14	02:34

Tabulka 9-10: Naměřené hodnoty u 10. dobrovolníka [vlastní tvorba]



Graf 9-10: Časový průběh jednotlivých pokusů u 10. dobrovolníka [vlastní tvorba]

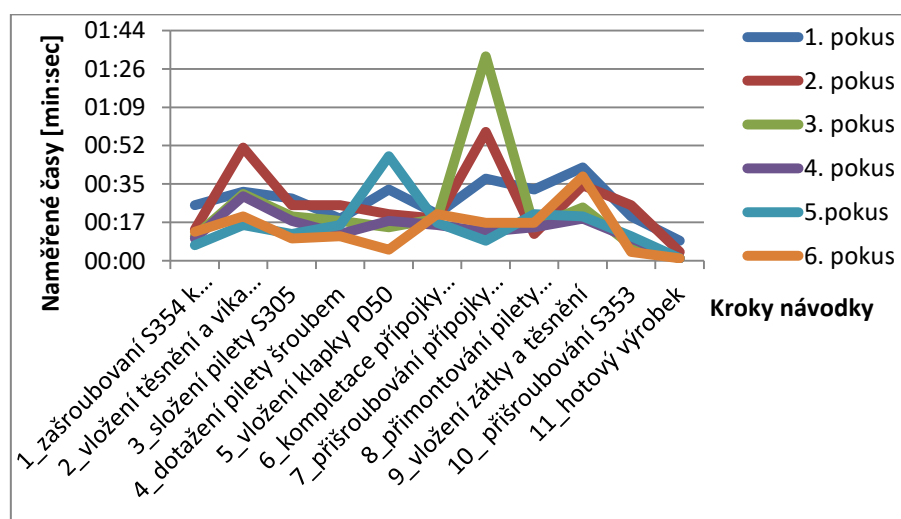
11. dobrovolník

Dobrovolníkem číslo jedenáct byl opět 21letý muž ze strojí fakulty. Do formuláře před měřením zapsal svou výšku 180 cm a manuální zručnost průměrnou. Při montáži v prvním pokusu musel dobrovolník upravovat po upozornění pouze orientaci přípojky u hotového výrobku. Ve druhém pokusu došlo k časovému zdržení v kroku dva a sedm. Student zde chtěl vkládat těsnění do špatného otvoru, kam pochopitelně nepatřila a rozměrově se tam ani nevešla. Po zhlédnutí celé animace vložil těsnění do správného otvoru. U sedmého kroku mu nešla přišroubovat přípojka S048 v důsledku špatného vložení klapky P050. Po opravě se přípojku povedlo přišroubovat.

Ve třetím pokusu se problém s přípojku opakoval. Uživatel si pak dával na tento krok pozor a klapku P050 vkládal do dílu S363 důsledně, což se projevilo i v pátém pokusu, kde se při vkládání klapky mírně zdržel. Poslední pokus montáže byl již zcela bez chyb, a proto je čas nejrychlejší, jak je vidět z Tabulky 9-11 a Grafu 9-11.

	1. pokus	2. pokus	3. pokus	4. pokus	5. pokus	6. pokus
naskenování kódu návody + 3s	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03
1_zašroubování S354 k S353	00:25	00:14	00:11	00:10	00:07	00:13
2_vložení těsnění a víka ke S353	00:31	00:51	00:30	00:29	00:16	00:20
3_složení pilety S305	00:28	00:25	00:20	00:18	00:12	00:10
4_dotažení pilety šroubem	00:19	00:25	00:18	00:12	00:16	00:11
5_vložení klapky P050	00:32	00:21	00:15	00:18	00:47	00:05
6_kompletace přípojky S048	00:21	00:19	00:19	00:16	00:17	00:21
7_přišroubování přípojky k S363	00:37	00:58	01:32	00:13	00:09	00:17
8_přimontování pilety S305	00:32	00:12	00:15	00:15	00:21	00:17
9_vložení zátky a těsnění	00:42	00:34	00:24	00:19	00:20	00:38
10_přišroubování S353	00:20	00:25	00:07	00:10	00:11	00:04
11_hotový výrobek	00:09	00:04	00:01	00:01	00:01	00:01
Součet	04:59	04:51	04:15	02:44	03:00	02:40

Tabulka 9-11: Naměřené hodnoty u 11. dobrovolníka [vlastní tvorba]



Graf 9-11: Časový průběh jednotlivých pokusů u 11. dobrovolníka [vlastní tvorba]

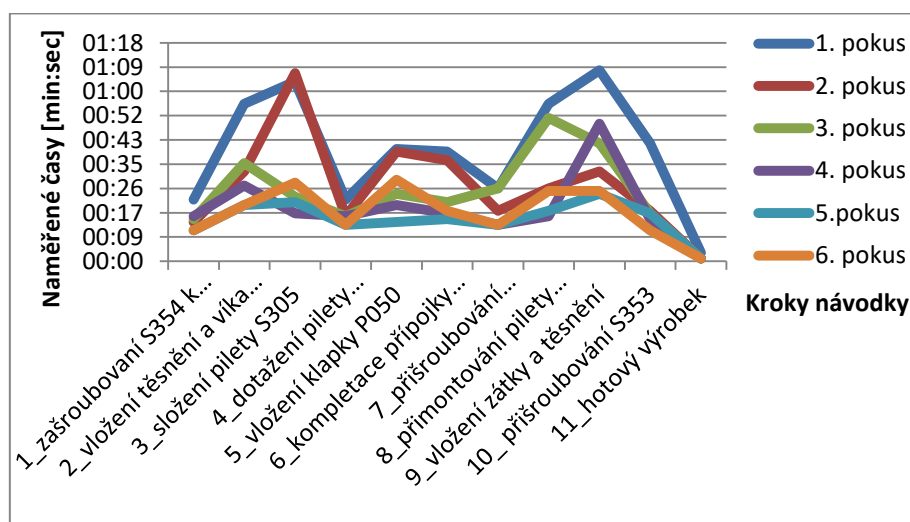
12. dobrovolník

Dvanáctý dobrovolník byla 22letá žena z ekonomické fakulty. Výška ženy byla 180 cm a manuální zručnost si vyplnila jako podprůměrnou. Při prvním pokusu dosáhla nejpomalejšího času montáže z toho dne. Z počátku měla žena problémy, kdy v krocích 2 a 3. Nevěděla, v jakém správném pořadí poskládat těsnění. S narůstajícími pokusy se ale její čas zlepšoval, až dosáhla svého nejlepšího času kompletace kolem tří minut.

Značného zdržení dosáhla při třetím pokusu, kdy jí v kroku 7 nešla přišroubovat přípojka v důsledku málo zastrčené klapky P050. Po opravě se přípojku povedlo zašroubovat k dílu S363. Ke zdržení v tomto pokusu ještě došlo v kroku 8, kdy nešlo ženě vložit těsnění do matice. Mírný nárůst času nastal při posledním pokusu, kdy se žena zdržela při vkládání klapky P050 do dílu S363. Ženě se nedařilo správně zasunout díl do drážky a povedlo se jí to až na několikátý pokus. Časy montáže sifonu a průběh jednotlivých kroků montáže jsou zaneseny v Tabulce 9-12 a Grafu 9-12.

	1. pokus	2. pokus	3. pokus	4. pokus	5. pokus	6. pokus
naskenování kódu návody + 3s	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03
1_zašroubování S354 k S353	00:22	00:14	00:15	00:16	00:11	00:11
2_vložení těsnění a víka ke S353	00:56	00:32	00:35	00:27	00:20	00:20
3_složení pilety S305	01:04	01:07	00:23	00:17	00:21	00:28
4_dotažení pilety šroubem	00:22	00:16	00:16	00:16	00:13	00:13
5_vložení klapky P050	00:40	00:39	00:24	00:20	00:14	00:29
6_kompletace přípojky S048	00:39	00:36	00:21	00:17	00:15	00:18
7_přišroubování přípojky k S363	00:26	00:18	00:26	00:13	00:13	00:13
8_přimontování pilety S305	00:56	00:26	00:51	00:16	00:18	00:25
9_vložení zátky a těsnění	01:08	00:32	00:42	00:49	00:24	00:25
10_přišroubování S353	00:42	00:18	00:17	00:15	00:17	00:11
11_hotový výrobek	00:03	00:01	00:01	00:01	00:01	00:01
Součet	07:21	05:02	04:34	03:30	02:50	03:17

Tabulka 9-12: Naměřené hodnoty u 12. dobrovolníka [vlastní tvorba]



Graf 9-12: Časový průběh jednotlivých pokusů u 12. dobrovolníka [vlastní tvorba]

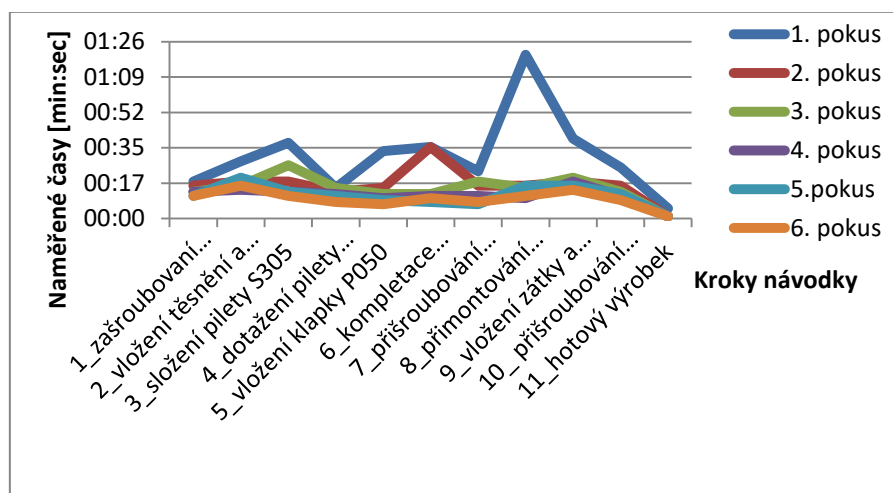
13. dobrovolník

Dobrovolníkem číslo třináct byla žena ve věku 23 let ze strojní fakulty. Do formuláře si před měřením vyplnila vlastní výšku 165 cm a průměrnou manuální zručnost. Žena při prvním pokusu pracovala pomalu, detailně pozorovala animace a s montáží se seznamovala. Ve druhém pokusu pak postupovala rychleji a mírně se zdržela jen u kompletace přípojky S048 v kroku 6. U třetího pokusu jí v kroku 7 vypadla klapka P050, kterou musela do dílu S363 vložit znovu.

V dalších pokusech už pracovala po paměti a návodku již skoro nepotřebovala. Čtvrtý a pátý pokus kompletace byl časově stejný, v posledním šestém pokusu ještě došlo k mírnému snížení času kompletace. V Tabulce 9-13 a Grafu 9-13 jsou vidět časy zaznamenané během montáže.

	1. pokus	2. pokus	3. pokus	4. pokus	5. pokus	6. pokus
naskenování kódu návodky + 3s	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03
1_zašroubování S354 k S353	00:18	00:16	00:13	00:13	00:11	00:11
2_vložení těsnění a víka ke S353	00:28	00:18	00:16	00:14	00:20	00:16
3_složení pilety S305	00:37	00:18	00:26	00:13	00:13	00:11
4_dotažení pilety šroubem	00:15	00:13	00:15	00:12	00:11	00:08
5_vložení klapky P050	00:33	00:15	00:12	00:10	00:09	00:07
6_kompletace přípojky S048	00:35	00:35	00:12	00:11	00:08	00:10
7_příšroubování přípojky k S363	00:23	00:16	00:18	00:11	00:07	00:08
8_přimontování pilety S305	01:20	00:16	00:15	00:10	00:16	00:11
9_vložení zátky a těsnění	00:39	00:18	00:20	00:18	00:16	00:14
10_příšroubování S353	00:25	00:16	00:13	00:11	00:12	00:09
11_hotový výrobek	00:05	00:01	00:01	00:01	00:01	00:01
Součet	05:41	03:05	02:44	02:07	02:07	01:49

Tabulka 9-13: Naměřené hodnoty u 13. dobrovolníka [vlastní tvorba]



Graf 9-13: Časový průběh jednotlivých pokusů u 13. dobrovolníka [vlastní tvorba]

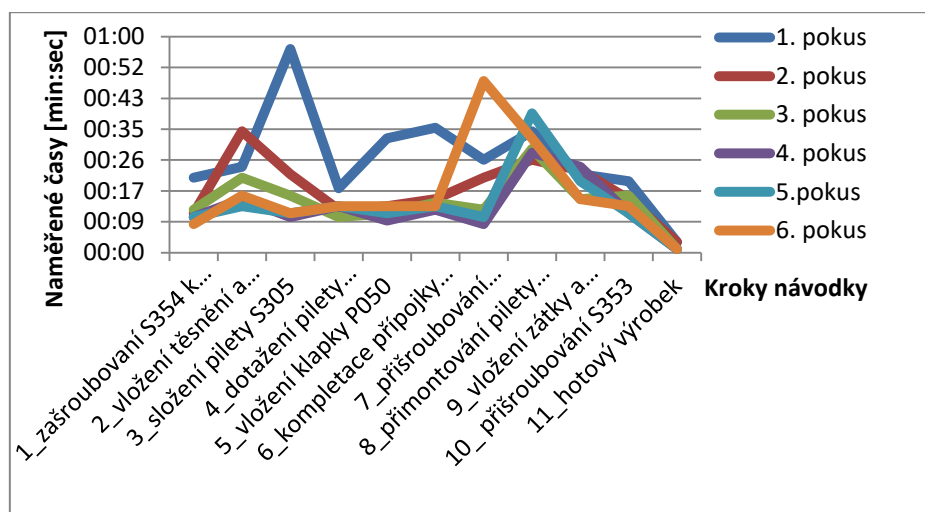
14. dobrovolník

Čtrnáctý dobrovolník byl muž ve věku 21 let ze strojní fakulty. Výška muže byla 180 cm a manuální zručnost měl průměrnou. U muže byla nejrychlejší montáž při čtvrtém pokusu. Při pátém a šestém pokusu došlo k zhoršování časů vlivem chyb, kterých se dobrovolník dopouštěl.

V osmém kroku pátého pokusu dobrovolník ve spěchu zapomněl přišroubovat piletu S305, kterou přišrouboval ke kompletu až na konec, když mu zbyla na stole. Při posledním šestém pokusu zase špatně domáčkl klapku P050 do drážky dílu S363. Díky špatnému domáčknutí pak nešla přišroubovat přípojka S048 a dobrovolník tak musel klapku vyndat a vložit do dílu S363 správně. Další naměřené časy jsou vypsány v Tabulce 9-14 a jejich průběh je znázorněn v Grafu 9-14.

	1. pokus	2. pokus	3. pokus	4. pokus	5. pokus	6. pokus
naskenování kódu návodky + 3s	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03
1_zašroubování S354 k S353	00:21	00:11	00:12	00:10	00:10	00:08
2_vložení těsnění a víka ke S353	00:24	00:34	00:21	00:15	00:13	00:16
3_složení pilety S305	00:57	00:22	00:16	00:10	00:11	00:11
4_dotažení pilety šroubem	00:18	00:12	00:10	00:13	00:13	00:13
5_vložení klapky P050	00:32	00:13	00:11	00:09	00:11	00:13
6_kompletace přípojky S048	00:35	00:15	00:14	00:12	00:13	00:13
7_přišroubování přípojky k S363	00:26	00:21	00:12	00:08	00:10	00:48
8_přimontování pilety S305	00:34	00:26	00:29	00:28	00:39	00:32
9_vložení zátky a těsnění	00:22	00:23	00:15	00:24	00:20	00:15
10_přišroubování S353	00:20	00:15	00:16	00:11	00:11	00:13
11_hotový výrobek	00:03	00:03	00:01	00:01	00:01	00:01
Součet	04:55	03:18	02:40	02:24	02:35	03:06

Tabulka 9-14: Naměřené hodnoty u 14. dobrovolníka [vlastní tvorba]



Graf 9-14: Časový průběh jednotlivých pokusů u 14. dobrovolníka [vlastní tvorba]

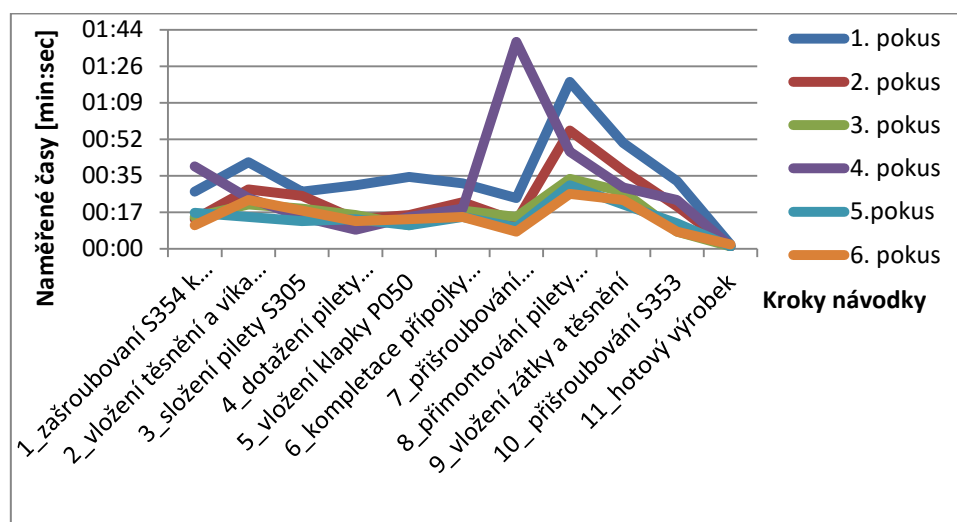
15. dobrovolník

Posledním dobrovolníkem byl 21letý muž ze strojní fakulty, jehož výška byla 180 cm a manuální zručnost byla průměrná. Dobrovolník byl při montáži nervózní a dělal spousty chyb. Při prvním pokusu v kroku 8 vkládal špatně těsnění do dílu S363 a stále mu padalo. V následujícím kroku pak vložil obráceně těsnění S009, i když v animaci je jasně ukázána správná orientace těsnění. Po upozornění těsnění sundal a nasunul správně.

Při čtvrtém pokusu mu hned v prvním kroku upadl díl na podlahu. Dobrovolník, vědom si jistého zdržení, začal spěchat, což se projevilo vypadnutím přípojky v kroku 7 a zapomenutím na přišroubování pilety S305 v kroku 8. Musel se proto vracet zpět k tomuto kroku a piletu přišroubovat. Ve výsledku provedl ve čtvrtém pokusu řadu chyb, které ho zdržely, proto se tento pokus zařadil k druhému nejhoršímu času dobrovolníka. V pátém a šestém pokusu se již žádných chyb nedopustil a tudíž se časy kompletace zase výrazně přiblížily k normálu. Naměřené časy a jejich průběh je znázorněn v Tabulce 9-15 a Grafu 9-15.

	1. pokus	2. pokus	3. pokus	4. pokus	5. pokus	6. pokus
naskenování kódu návody + 3s	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03	00:03
1_zašroubování S354 k S353	00:27	00:14	00:15	00:39	00:17	00:11
2_vložení těsnění a víka ke S353	00:41	00:28	00:21	00:24	00:15	00:23
3_složení pilety S305	00:27	00:25	00:19	00:15	00:13	00:18
4_dotažení pilety šroubem	00:30	00:14	00:16	00:09	00:14	00:13
5_vložení klapky P050	00:34	00:16	00:11	00:15	00:11	00:14
6_kompletace přípojky S048	00:31	00:22	00:18	00:19	00:15	00:15
7_přišroubování přípojky k S363	00:24	00:13	00:15	01:38	00:10	00:08
8_přimontování pilety S305	01:19	00:56	00:33	00:46	00:30	00:26
9_vložení zátky a těsnění	00:50	00:37	00:27	00:29	00:21	00:23
10_přišroubování S353	00:32	00:20	00:08	00:23	00:12	00:08
11_hotový výrobek	00:02	00:01	00:01	00:01	00:01	00:02
Součet	06:20	04:09	03:07	05:21	02:42	02:44

Tabulka 9-15: Naměřené hodnoty u 15. dobrovolníka [vlastní tvorba]



Graf 9-15: Časový průběh jednotlivých pokusů u 15. dobrovolníka [vlastní tvorba]

9.3 Shrnutí naměřených dat

Celkem se časového měření kompletace dřezového sifonu podle virtuální návodky s osvětlením pozic zúčastnilo 15 dobrovolníků, z toho bylo ve skupině zastoupeno jedenáct mužů a čtyři ženy.

Nejčastějšími problémy, které při montáži nastaly, byly vypadávání klapky P050 z dílu S363 a špatné vkládání těsnění S323 do dílu S363. Vypadávání klapky bylo částečně způsobeno nedostatečným zamáčknutím klapky do drážky a trochu i nešťastně zvoleným krokem montáže. Pracovník v kroku 5 vloží klapku do dílu S363 a díl poté odloží na stůl. V kroku 6 vloží do přípojky S048 těsnění a v následném kroku 7 přípojku přišroubuje k odloženému dílu S363. Při odkládání dílu S363 na stůl se stalo, že špatně domáčknutá klapka S363 vypadla. Zamezit tomuto problému by se dalo přehozením kroku 6 za krok 5. Pracovník by nejprve vložil do přípojky těsnění a přípojku S048 by odložil na stůl. Zde by nehrozilo žádné vypadnutí, neboť gumové těsnění v přípojce pevně drží. Po kompletaci přípojky by následoval další krok, kdy by uživatel vložil klapku P050 do dílu S363. Montáž S363 by se ukončila krokem, ve kterém by pracovník díl S363 neodkládal a rovnou by na něj přišrouboval přípojku S048. Došlo by tak k odstranění častého vypadávání klapky při odložení součásti S363.

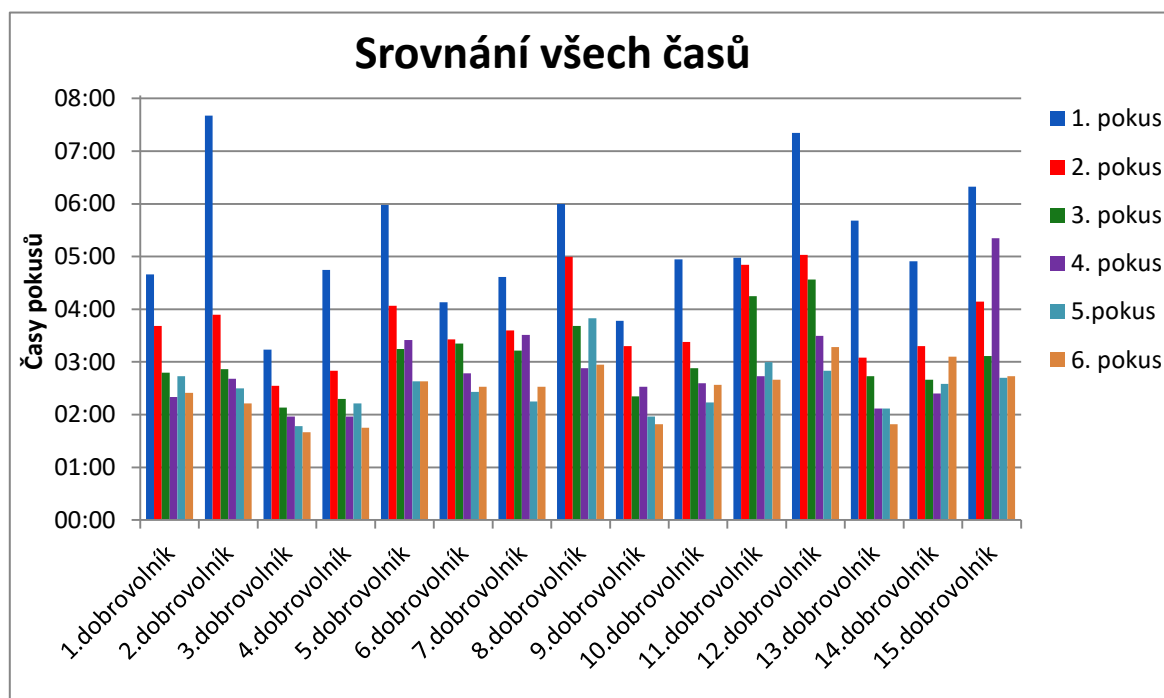
Problém se špatným vkládáním těsnění spočíval v nepozornosti některých studentů. Animace jasně ukazuje, že těsnění se má vložit do matice a ne do trubkové části S363. Pokud student vložil těsnění do trubkové části S363, tak při přišroubování hotové pilety S305 si těsnění maticí vysunul ven a musel ho opět vkládat do dílu S363. Popsaný problém by se dal odstranit vložením textového upozornění do návodky, která by uživatele na problém upozorňovala. Otázkou ale zůstává, jestli by si pracovník upozornění před vkládáním těsnění přečetl. Při pozorování studentů jsem došel názoru, že si informace v návodce čtou, až když jim něco nejde, nebo nemohou díly najít.

Všechny montážní časy testovaných studentů jsou přehledně zaneseny v Tabulce 9-16. Jednotlivým pokusům byly vypočítány průměrné časy montáže, které jsou tučně vypsány v dolní části tabulky. Z časů je patrné jejich postupné snižování s rostoucím množstvím pokusů. Po pátém pokusu už je patrné malé snížení průměrného času o pouhé 4 sekundy, lze tedy tvrdit, že pátým pokusem nastává ustálení času potřebného pro montáž.

Testovaný subjekt	Pohlaví	Věk	1. pokus	2. pokus	3. pokus	4. pokus	5. pokus	6. pokus
1. dobrovolník	muž	23	04:40	03:41	02:48	02:20	02:44	02:25
2. dobrovolník	žena	22	07:41	03:54	02:52	02:41	02:30	02:13
3. dobrovolník	muž	25	03:14	02:33	02:08	01:58	01:47	01:40
4. dobrovolník	žena	21	04:45	02:50	02:18	01:58	02:13	01:45
5. dobrovolník	muž	21	05:59	04:04	03:15	03:25	02:38	02:38
6. dobrovolník	muž	21	04:08	03:26	03:21	02:47	02:26	02:32
7. dobrovolník	muž	21	04:37	03:36	03:13	03:31	02:15	02:32
8. dobrovolník	muž	21	06:00	05:00	03:41	02:53	03:50	02:57
9. dobrovolník	muž	20	03:47	03:18	02:21	02:32	01:58	01:49
10. dobrovolník	muž	21	04:57	03:23	02:53	02:36	02:14	02:34
11. dobrovolník	muž	21	04:59	04:51	04:15	02:44	03:00	02:40
12. dobrovolník	žena	22	07:21	05:02	04:34	03:30	02:50	03:17
13. dobrovolník	žena	23	05:41	03:05	02:44	02:07	02:07	01:49
14. dobrovolník	muž	21	04:55	03:18	02:40	02:24	02:35	03:06
15. dobrovolník	muž	21	06:20	04:09	03:07	05:21	02:42	02:44
Průměrný čas			05:16	03:45	03:05	02:51	02:31	02:27

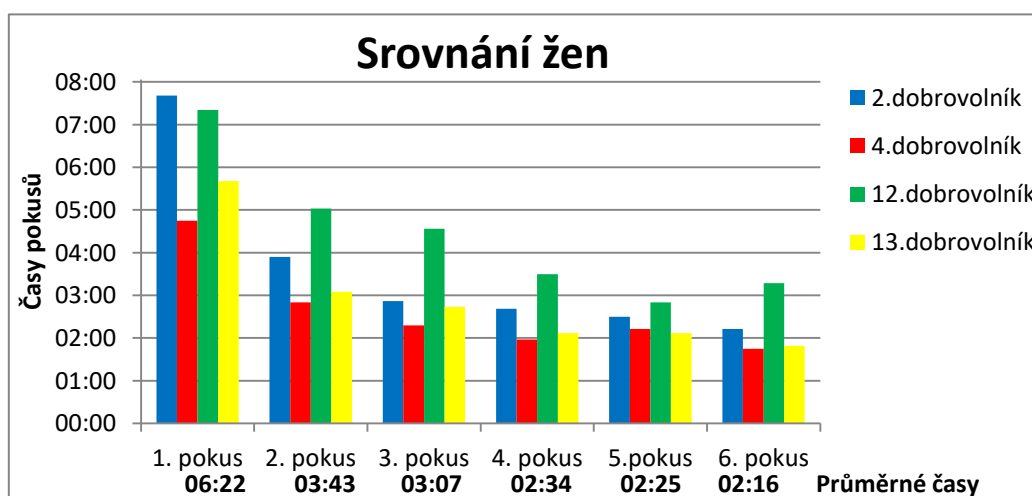
Tabulka 9-16: Výsledné časy montáže dřezového sifonu [vlastní tvorba]

Z Tabulky 9-16 je také patrné, že k největšímu časovému úbytku došlo mezi prvním a druhým pokusem a to o 1 minutu a 31sekund. Časový rozdíl mezi prvním a posledním měřením šestým pokusem pak činí 2 minuty a 49 sekund. V Grafu 9-16 jsou graficky znázorněny dosažené časy jednotlivých dobrovolníků při kompletaci sifonu.



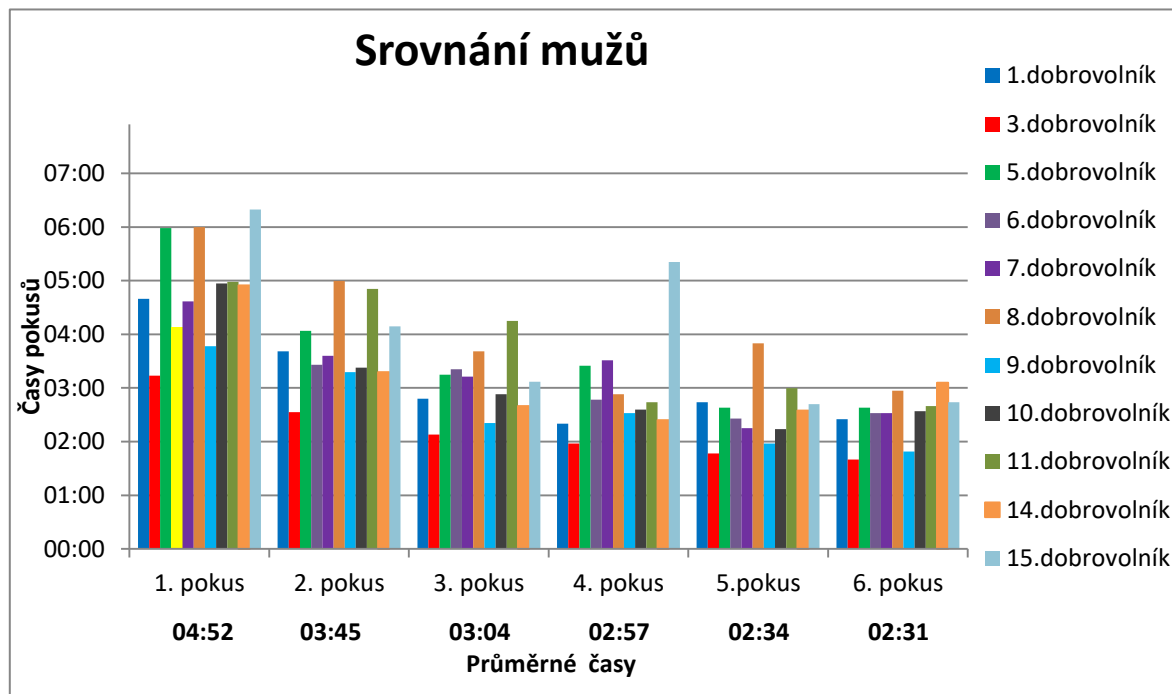
Graf 9-16: Srovnání všech naměřených času od 15 dobrovolníků [vlastní tvorba]

Z naměřených hodnot je patrné, že vliv na montáž dřezového sifonu mělo i to, zda je daný dobrovolník muž nebo žena. Jak si můžete všimnout na Grafu 9-17, ženy u prvních pokusu měly výrazně vyšší průměrný čas k montáži než je průměrný čas všech patnácti měřených dobrovolníků. Druhý a třetí pokus byly přibližně totožné, s průměrnými časy všech dobrovolníků. Poslední tři pokusy byly zase naopak u žen rychlejší než průměr všech. Ze získaných hodnot lze tedy usuzovat, že ženám nejvíce dělala problém první montáž, při které se s prací seznamovaly a učily se, co k sobě patří. Poté se svými časy vyrovnaly naměřeným časům mužů a při posledních pokusech montáže už věci dělaly zcela automaticky a rychle než muži.



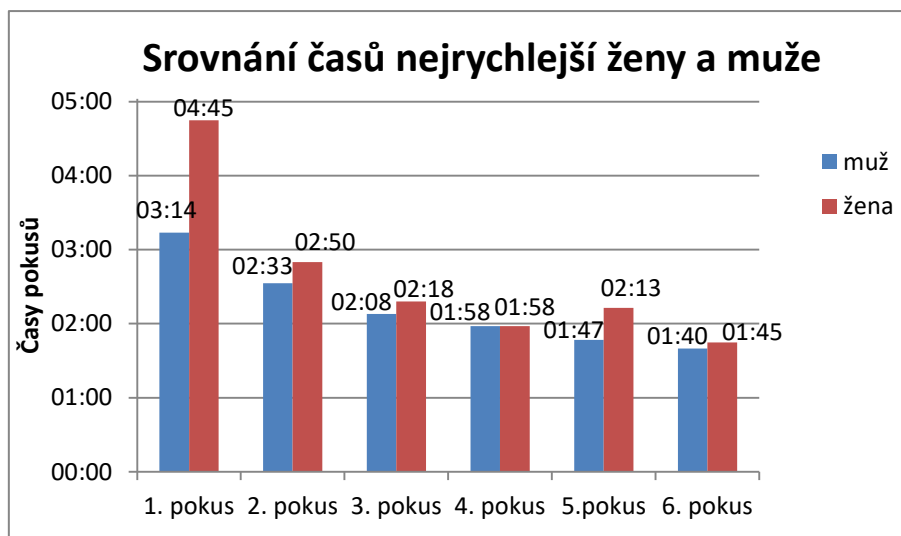
Graf 9-17: Srovnání časů potřebných pro montáž u žen [vlastní tvorba]

Muži naopak, jak je vidět v Grafu 9-18, měli při prvním pokusu mnohem rychlejší průměrný čas než ženy. Toto zjištění může být způsobeno například tím, že muži častěji kompletují věci, tudíž už ví: co jak funguje, co k sobě patří a jak se zachází s elektrickým šroubovákem. U dalších pokusů, kdy už muži i ženy věděli, co dělat, došlo k vyrovnání jejich časů. Poslední tři pokusy kompletace sifonu byli muži řádově 10 až 20 sekund pomalejší než ženy.



Graf 9-18: Srovnání časů potřebných pro montáž u mužů [vlastní tvorba]

Výše popsané rozdílné časy u mužů a žen vedly k sestavení Grafu 9-19, ve kterém byly porovnány časy montáže nejrychlejšího muže a nejrychlejší ženy. Z grafu je patrné, že u prvního pokusu je největší rozdíl mezi ženou a mužem, který činí 1 minutu a 31 sekund. Poté se již časy mezi mužem a ženou vyrovnaly a jejich rozdíly byly v řádu 10-20 sekund. Při čtvrtém pokusu oba dobrovolníci dosáhli stejného času a při jejich posledním pokusu byl muž rychlejší pouze o zanedbatelných 5 sekund.

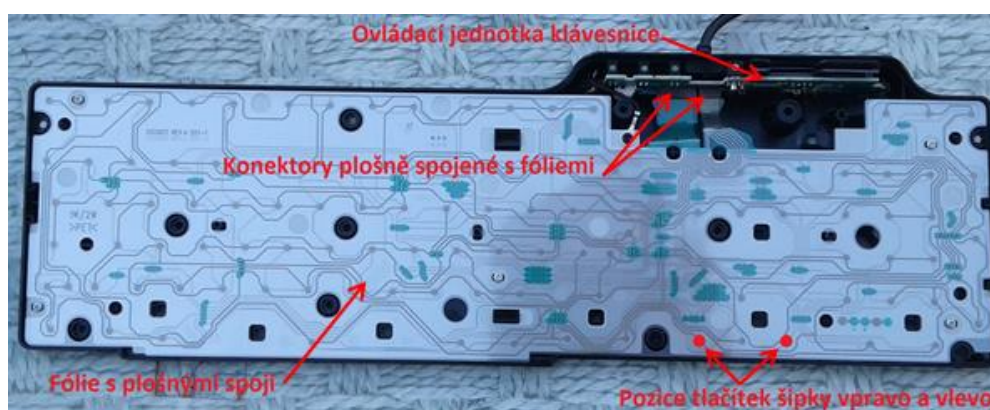


Graf 9-19: Grafické srovnání časů nejrychlejšího muže a ženy [vlastní tvorba]

10. Rozšíření virtuální návodky

Virtuální návodka, jak již bylo zmíněno v kapitole 5, byla původně ovládána systémem tlačítek umístěných trvale na hlavní scéně virtuální návodky. Montážní pracovník, který skládal dřezový sifon podle návodky, tak musel za pomoci bezdrátové myši najet kurzorem na příslušné tlačítko a kliknutím spustit jeho funkci.

Při testování montáže studentů se ukázal tento způsob ovládání jako zpomalující, neboť uživatel musel vždy při dokončení montáže v každém kroku najet kurzorem myši na tlačítko pro zobrazení kroku a to stisknout. Pro ulehčení přepínání animací v jednotlivých krocích byl vytvořen dvoutlačítkový ovladač ze staré klávesnice k počítači, která je k vidění na Obrázku 10.1. Z rozebrané klávesnice byly postupně odpojeny konektory, které rozdělily ovládací jednotku klávesnice od systému tlačítek. Po odpojení byla z klávesnice odebrána celá ovládací jednotka, ke které byla připájena dvě tlačítka. Každé z tlačítek bylo propojeno s ovládací jednotkou klávesnice přes dva kabely, které byly přesně připájeny na pozice konektorů, odpovídající tlačítkům šipky vpravo a vlevo. Pozice konektorů tlačítek šipky vpravo a vlevo byly odečteny z odebraných fólií s plošnými spoji.



Obrázek 10.1: Schéma rozebrané klávesnice [vlastní zpracování]

Veškerá elektronika s ovládací deskou byla umístěna do prázdného ochranného krytu starého WiFi routeru, do jehož víka byly vyvrtány dva otvory pro ovládací tlačítka. Ovladač je možné připojit k počítači přes USB kabel. Po připojení ovladač v počítači zastává funkce tlačítek šipky vpravo a vlevo. K tomu, aby v návodce ovladač po stisknutí jednoho z tlačítek pustil následující animaci, musel být do Unity 3D dopsán jednoduchý kód, který tuto funkci zajišťuje. Celý vytvořený ovladač je znázorněn na Obrázku 10.2.



Obrázek 10.2: Vytvořený dvoutlačítkový ovladač [vlastní zpracování]

Velkou výhodou ovladače oproti myši je, že pracovník již při montáži nemusí hledat kurzor myši, aby si mohl přehrát další krok, ale pouze zmáčkne tlačítko a montážní návodka mu ukáže další animaci s požadovaným osvětlením. Jelikož je zjevné, že tento prvek může ovlivnit časy montáže, byla pro tento nový způsob ovládání návodky provedena další časová měření. Výsledky z měření jsou zobrazeny v Tabulce 10-1.

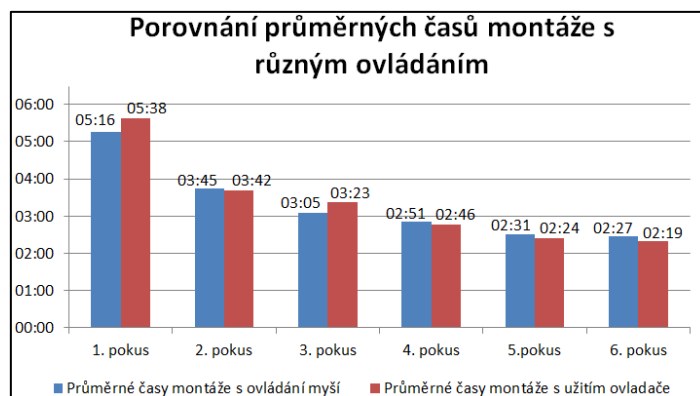
Testovaný subjekt	Pohlaví	Věk	1. pokus	2. pokus	3. pokus	4. pokus	5. pokus	6. pokus
1. dobrovolník	muž	22	06:44	05:16	04:37	02:41	02:25	02:25
2. dobrovolník	muž	21	05:38	03:16	03:21	02:47	02:27	02:01
3. dobrovolník	žena	21	05:36	03:44	03:31	03:06	02:28	02:06
4. dobrovolník	žena	20	04:52	02:30	01:56	02:25	01:50	01:55
5. dobrovolník	muž	21	04:09	02:26	02:10	01:57	01:52	01:58
6. dobrovolník	žena	22	05:51	04:17	03:52	03:33	02:35	03:04
7. dobrovolník	muž	22	07:17	04:56	03:41	03:15	03:35	03:00
8. dobrovolník	žena	23	04:55	03:12	03:56	02:27	01:58	02:00
Průměrný čas			05:38	03:42	03:23	02:46	02:24	02:19

Tabulka 10-1: Výsledné časy montáže sifonu s použitím ovladače [vlastní tvorba]

Při porovnání průměrných časů montáže dřezového sifonu s ovládáním návodky pomocí myši a pomocí ovladače, došlo k mírným pracovním změnám. Z Grafu 10-1 je patrné, že ke snížení času montáže při užití ovladače došlo u pokusů číslo 2, 4, 5 a 6. Časy se však lišily pouze v rozmezí 3 až 8 sekund. Naopak u 1. a 3. pokusu došlo k zhoršení montážních časů a to o 18 až 22 sekund. Zhoršení času se dá přičíst k malému množství otestovaných dobrovolníků. Pokud by se otestovalo větší množství studentů, tak by jistě došlo i k snížení časů u těchto dvou pokusů.

Další problém, který mohl zapříčinit malé snížení obou variant, mohl být ten, že testovací montáž probíhala na studentech vysoké školy. Pokud by měření probíhalo na skupině dobrovolníků se základním nebo středoškolským vzděláním či dokonce na cizincích (lidí, kteří v podnicích skutečně pracují), mohly by rozdíly obou variant být vyšší. Větších rozdílů bychom jistě dosáhli i u složitějších návodků, kde by bylo větší množství kroků a uživatel by musel častěji přeskakovat mezi animacemi. V našem případě jsme měli jedenáct kroků, což je pouze deset přechodů mezi animacemi. Proto i rozdílné časy mezi oběma variantami byly nižší a spíše než typ ovládání rozhodovala zručnost pracovníka.

Při pozorování studentů při montáži se určitě na první pohled jevílo ovládání pomocí dvou tlačítek na ovladači jako lepší varianta. Student zbytečně nehledal kurzor myši a okamžitě při dokončení montáže zmáčkne tlačítko a pokračoval v kompletaci podle nově zobrazené animace. Proto, ač odchylky obou variant jsou malé, z hlediska pohodlnosti byla jistě lepší varianta s ovladačem než s myší.



Graf 10-1: Časové porovnání montáže podle dvou typů ovládaní [vlastní tvorba]

11. Vyhodnocení návodek

Dnes se můžeme v podnicích setkat s různými druhy montážních návodů. Nejčastěji se v závodech setkáme s papírovými návody, ovšem některé podniky se již dnes snaží od těchto manuálů ustupovat a nahrazují je virtuálními návody či video návody.

V této práci máme k dispozici časová data od čtyř druhů montážních návodek, která jsou uvedena v Tabulce 11-1. Jsou zde data naměřená Ing. Lucíí Fejfarovou pro papírovou a virtuální návodku bez osvětlení pozic, data naměřená studentem Janem Šulcem pro video návod a mnou naměřená data montáže podle virtuálního návodu s osvětlením pozic. Časové údaje uvedené v tabulce tvoří průměrné časy ze všech měření, která byla pro danou návodku provedena. V následujících podkapitolách 11.1 až 11.3 jsou podrobně rozebrány výsledky, kterých bylo dosaženo.

	1. pokus	2. pokus	3. pokus	4. pokus	5. pokus	6. pokus
Papírová návodka	11:18	05:39	04:43	03:44	-	-
Virtuální návodka bez osvětlení	06:44	04:31	03:39	02:57	-	-
Video návodka	05:46	03:54	03:17	02:57	02:52	02:44
Virtuální návodka s osvětlením pozic	05:16	03:45	03:05	02:51	02:31	02:27

Tabulka 11-1: Srovnání průměrných časů montáže podle různých druhů návodek [vlastní tvorba]

11.1 Srovnání s papírovou návodkou

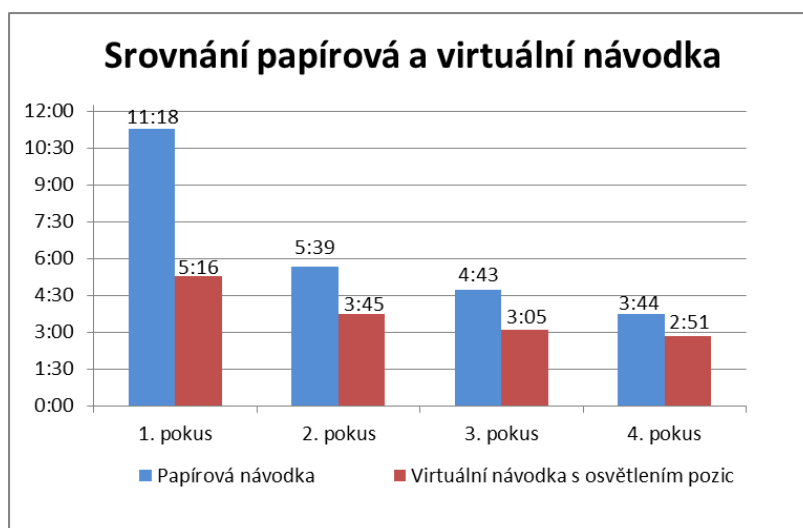
Pro malé a střední podniky, které nemají takové finanční možnosti k zakoupení potřebných softwarů pro tvorbu virtuálních návodek a k pořízení potřebných zařízení pro zobrazení návodky, jsou jistě výhodnější klasické papírové manuály. Jejich tvorba a následné zavedení do montážní výroby jsou z hlediska vložených financí nízké. Nesmyslné je také použití virtuální návodky pro kusovou výrobu. Pro kompletaci součástí a dílů, které se vyrábějí v malém množství a jednou za delší časový úsek, je opět finančně výhodnější papírová návodka.

Ovšem pro podniky s vysokým kapitálem a sériovou výrobou jsou virtuální návodky příslibem do budoucnosti. Příkladem takových podniků jsou hlavně automobilky. Ty mají dostatek finančních prostředků pro užití nových technologií. Zároveň je tu požadavek snižovat časy výroby všech komponent, aby byl ve výsledku automobil vyroben za co nejkratší dobu. Z tohoto důvodu mnoho světových automobilek začíná od papírových návodek ustupovat a vytvářejí vlastní virtuální návodky.

Hlavní výhodou virtuální návodky oproti papírové je snížení času montáže u pracovníků, kteří danou montáž provádějí poprvé. Tento výrok potvrzuje i porovnání časů montáže dřezového sifonu podle papírové a virtuální návodky z Grafu 11-1. Při prvním pokusu, kdy ještě pracovník neví, jaké díly bude potřebovat a jak je správně smontovat, činí rozdíl mezi návodkami 6 minut a 2 sekundy. Zavedením virtuální návodky se tedy dostáváme na polovinu času montáže podle papírové návodky u prvního pokusu. V dalších třech pokusech už se tento rozdíl snižuje, což je dáno zapamatováváním práce dělníka. U druhého pokusu činí rozdíl 1 minutu a 54 sekund, při třetím 1 minutu a 38 sekund a při čtvrtém už pouhých 53 sekund.

Dalšími výhodami virtuální návodky oproti papírovým může být: snížení zmetkovitosti, neboť dělník z animací lépe chápe, co má dělat; rychlé načtení návodu nejčastěji pomocí čtečky čárkového kódu, takže dělník nemusí dlouze listovat v papírech a hledat potřebný

návod; úbytek místa potřebného pro skladování návodů, neboť návody jsou uloženy na serveru podniku a lepší orientace v návodu u složitých montážních prací.



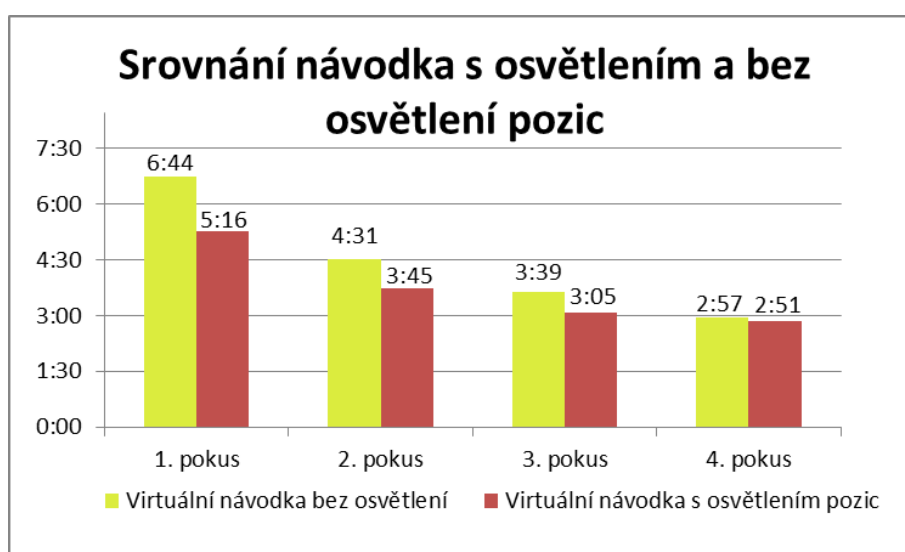
Graf 11-1: Srovnání průměrných časů montáže podle papírové a virtuální návodky [vlastní tvorba]

11.2 Srovnání s virtuální návodkou bez osvětlení pozic

Rozšířenou realitu či osvětlení z projektoru je možné použít k zvýraznění pozic potřebných dílů pro montáž v daném kroku. V našem případě byl pro vyznačení pozic použit projektor, který červeně osvětloval pozice dílů v boxech.

Srovnání průměrných časů montáže podle návodky s osvětlením a bez osvětlení pozic je znázorněno v Grafu 11-2. Je patrné, že osvětlení pozic opět pomáhá snížit první pokusy montáže. U prvních dvou pokusů činí rozdíl s osvětlením a bez 1 minutu 28 sekund a 46 sekund. Od třetího pokusu jsou již rozdíly malé, neboť už pracovník ví, kam má pro dané díly sáhnout. Rozdíl zde činí 34 sekund a 6 sekund.

Je tedy patrné, že osvětlení pozic pomáhá pracovníkovi při prvních několika montážích, než si sám již pamatuje, kde potřebné díly pro montáž najít.



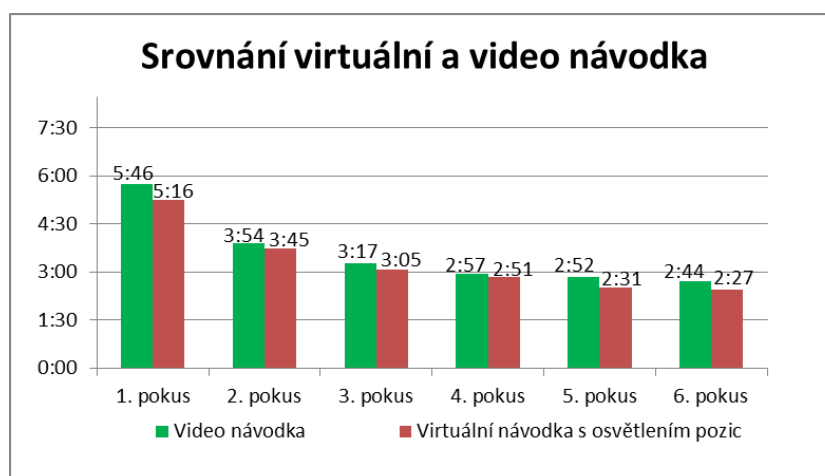
Graf 11-2: Srovnání průměrných časů montáže podle virtuální návodky s osvětlením a bez [vlastní tvorba]

11.3 Srovnání s video návodkou

Pokud srovnáme naměřené časy montáže podle virtuální návodky s osvětlením pozic a video návodky vytvořené Bc. Janem Šulcem, dostáváme se na přibližně stejné časové hodnoty. Rozdíl průměrných časů u prvního pokusu činí pouhých 30 sekund. U ostatních pokusů se již pohybujeme v rozmezí od 21 do 6 sekund, jak je možné vidět na Grafu 11-3 [34].

Video návodka se tedy jeví jako možná levnější alternativa k virtuální návodce. Náklady na její vytvoření a uvedení do provozu jsou jistě nižší, neboť nepotřebuje projektor k osvětlování pozic a složité softwary k jejímu vytvoření. Vše, co pro tvorbu návodky podnik potřebuje je: kamera se širokoúhlým objektivem pro natočení videa, jednoduchý nástroj k střihání a úpravám natočeného materiálu a zobrazovací zařízení (monitor, tablet), na kterém video návod poběží. Pokud porovnáme dobu tvorby návodky, pak video návodka má kratší dobu vytvoření a tudíž i rychlejší zavedení do provozu. Janu Šulcovi trvala tvorba video návodky přibližně 3 dny. Tvorba virtuální návodky s osvětlením pozic zabrala podstatně delší dobu v rozmezí 10 až 14 dnů včetně potřebného ladění návodky a osvětlení [34].

Slabinu ve video návodce můžeme spatřovat v pomalejším pochopení výběru správných dílů pro montáž. Přece jen uživatel sleduje video a při pohledu na skutečná rozložení dílů v krabičkách, mu trvá určitý okamžik, než se zorientuje. Naopak virtuální návodka s osvětlením už přímo osvětluje skutečné pozice, tudíž uživatel nemusí nad pozicí potřebného dílu dlouze přemýšlet.



Graf 11-3: Srovnání průměrných časů montáže podle virtuální a video návodky [vlastní tvorba]

Závěr

Diplomová práce měla v úvodu definované cíle, kterých mělo být a bylo dosaženo. Hlavním cílem práce bylo vytvořit vlastní virtuální návodku s upozorněním na pozice potřebných dílů. Návodku poté otestovat na skupině dobrovolníků a zaznamenané časy montáže porovnat s již naměřenými časy montáže podle jiných návodek.

V teoretické části jsou vysvětleny pojmy virtuální, rozšířená a smíšená realita a jejich znázornění v Milgram-Kishinově diagramu. Rovněž jsou zde představeny a zobrazeny různé druhy hardwarových prostředků k zobrazování virtuální a rozšířené reality. Jelikož se práce zabývá virtuálními návodkami, jsou zde představena různá řešení a praktická využití virtuálních návodek v průmyslových podnicích. Práce především odhaluje virtuální návodky ve světových automobilkách a leteckých společnostech.

V praktické části je funkčně popsán software pro tvorbu virtuální návodky, včetně již vytvořeného prostředí k jejich tvorbě. Samotné tvorbě vlastní virtuální návodky pro montáž dřezového sifonu je v práci věnována jedna kapitola, ve které jsou vylíčeny všechny kroky i vyskytlé problémy, jež při vytváření nastaly. Práce obsahuje data montáže dřezového sifonu podle papírové a virtuální návodky bez osvětlení pozic, které v loňském roce v rámci své práce naměřila Ing. Lucie Fejfarová. Kromě těchto dat, jsou v práci uvedena i naměřená data montáže dřezového sifonu podle mnou vytvořené virtuální návodky s osvětlením pozic a podle video návodu, který, jako svou diplomovou práci, vytvořil Bc. Jan Šulc. Časové měření montáže podle těchto návodek probíhalo na předem připraveném pracovišti v Laboratoři ergonomie a rozšířené reality na Západočeské univerzitě v Plzni, jak je popsáno v jedné z kapitol práce. Měření montáže se zúčastnila skupina studentů, která postupovala při kompletaci podle animací ve vytvořené virtuální návodce. Jejich zaznamenaná data jsou pak v práci porovnána s daty montáže podle jiných návodek.

Z dosažených výsledků je patrné, že virtuální návodka a video návodka přispívají k výraznému zrychlení montáže především v prvotní fázi. Rozhodnutí, zda se zavedení virtuální návodky do výroby vyplatí, či nikoliv, je na každém podniku. Firma si musí zvážit, zda její počáteční investice do vybavení pracovišť, potřebného softwaru a zaškolení programátora ji ve výsledku přinesou takové zlepšení, které by se jí vyplatilo.

Oproti časovým úsporám má virtuální návodka i jiné výhody. Její výhodou je například, že montáž z nich pochopí i cizinec a méně chápavý pracovník. V současné době, kdy je nízká nezaměstnanost a firmy přijímají do výroby i cizince, se užití virtuálních návodek jeví jako výhodné řešení pro rychlé zaškolení pracovníka. Věřím, že v brzké době řada středních a velkých podniků půjde právě touto cestou moderních digitálních manuálů oproti zastaralým papírovým. Nasvědčuje tomu i zájem podniků o zapojení do projektu Industry 4.0, jehož hlavní náplní je digitalizace podniků.

Seznam použité literatury

- [1] CTI Reviews. *Action Research: Statistics, Research methods*. 3 vyd. Cram101 Textbook Reviews, 2016, 33s. ISBN 9781490287942 [cit. 24. 10. 2017]
- [2] What is Mixed Reality. *Reality Technologies* [online]. 2016. [cit. 24. 10. 2017] Dostupné z: <<http://www.realitytechnologies.com/mixed-reality>>.
- [3] VR/AR/MR, what's difference. *Foundry* [online]. [cit. 24. 10. 2017] Dostupné z: <<https://www.foundry.com/industries/virtual-reality/vr-mr-ar-confused>>.
- [4] What is Augmented Reality. *Reality Technologies* [online]. 2016. [cit. 28. 10. 2017] Dostupné z: <<http://www.realitytechnologies.com/augmented-reality>>.
- [5] AZUMA, Ronald T. *A Survey of Augmented Reality*. [online]. presence: Teleoperators and Virtual Environments 6, 4 (August 1997). [cit. 28. 10. 2017] Dostupné z: <<http://www.ronaldazuma.com/papers/ARpresence.pdf>>.
- [6] Mixed Reality, Augmented Virtuality & Virtual Reality, Whats the Difference. *WBpro* [online] 2016. [cit. 28. 10. 2017] Dostupné z: <<https://www.wbpro.com/mixed-augmented-virtual-reality/>>.
- [7] BIMBER Oliver, RASKAR Ramesh *Spatial Augmented Reality Merging Real and Virtual Worlds* [online] Copyright © 2005 by A K Peters, Ltd [cit. 18. 11. 2017] Dostupné z: <<http://pages.cs.wisc.edu/~dyer/cs534/papers/SAR.pdf>>.
- [8] Lenovo's New Smart Cast Phone Projects Touchscreen on Any Surface. *The Christian post* [online] 2015. [cit. 18. 11. 2017] Dostupné z: <<https://www.christianpost.com/news/lenovos-new-smart-cast-phone-projects-touchscreen-on-any-surface-video-139685/>>.
- [9] How Do Augmented Reality Displays Work? *Forbes* [online] 2017. [cit. 18. 11. 2017] Dostupné z: <<https://www.forbes.com/sites/quora/2017/01/09/how-do-augmented-reality-displays-work/#415da7484731>>.
- [10] Brýle Google Glass jsou zpátky! *Svět androida* [online] 2017. [cit. 18. 11. 2017] Dostupné z: <<https://www.svetandroida.cz/bryle-google-glass-201707/>>.
- [11] Prodej VUZIX M3000. *Alza* [online] 2017. [cit. 18. 11. 2017] Dostupné z: <<https://www.alza.cz/gaming/vuzix-m3000-d4656871.htm>>.
- [12] Vyzkoušeli jsme Microsoft HoloLens – headset budoucnosti pro rozšířenou realitu. *SvětAndroida* [online] 2016. [cit. 18. 11. 2017] Dostupné z: <<https://www.svetandroida.cz/microsoft-hololens-headset-201608/>>.
- [13] The next step in the VR/AR evolution: VR contact lenses. *GameSkinny* [online] 2016. [cit. 19. 11. 2017] Dostupné z: <<https://www.gameskinny.com/1vtiy/the-next-step-in-the-vrar-evolution-vr-contact-lenses>>.
- [14] Video See-Through. *Trivisio* [online] 2016. [cit. 19. 11. 2017] Dostupné z: <<https://www.trivisio.com/hmd-nte>>.
- [15] Visette 45 SXGA VST. *Est* [online] 2017. [cit. 19. 11. 2017] Dostupné z: <<https://est-kl.com/manufacture/cinoptics/visette-45-sxga-vst.html>>.
- [16] Video See-Through. *Sensics* [online] 2017. [cit. 19. 11. 2017] Dostupné z: <<http://sensics.com/portfolio-posts/zsight-1920/>>.

- [17] COSTELLO Patrick. Health and Safety Issues associated with Virtual Reality [online] Loughborough University 1997. [cit. 19. 11. 2017] Dostupné z: <<http://www.agocg.ac.uk/reports/virtual/37/report37.htm>>.
- [18] Virtual Aerospace lands at Cobra to share Jetmax specs from The Gadget Show. *Cobra* [online] 2013. [cit. 19. 11. 2017] Dostupné z: <<http://www.cobrasimulation.com/about-cobra/news/cobra-simulation-press-releases/6/>>.
- [19] Best VR headsets 2017: HTC Vive, Oculus, PlayStation VR compared. *Wareable* [online] 2017. [cit. 19. 11. 2017] Dostupné z: <<https://www.wareable.com/vr/best-vr-headsets-2017>>
- [20] AR at Boeing (1990). *Idemployee* [online] © Boeing Inc., USA. [cit. 11. 11. 2017] Dostupné z: <<http://www.idemployee.id.tue.nl/g.w.m.rauterberg/presentations/hci-history/tsld096.htm>>.
- [21] Hyundai to launch an augmented reality owner's manual app. *DPCCars* [online] 2015. [cit. 11. 11. 2017] Dostupné z: <<http://www.dpccars.com/blog/hyundai-to-launch-an-augmented-reality-owners-manual-app/>>.
- [22] BMW designs augmented reality glasses to help BMW mechanics. *BMWBlog* [online] 2014. [cit. 12. 11. 2017] Dostupné z: <<http://www.bmwblog.com/2014/01/23/bmw-designs-augmented-reality-glasses-help-bmw-mechanics/>>.
- [23] BMW's new headset will help us parking. *Experenti* [online] 2015. [cit. 12. 11. 2017] Dostupné z: <<http://www.experenti.eu/ar/bmws-new-headset-will-help-us-parking/>>.
- [24] Volkswagen develops augmented reality service manual for the XL1. *Engaget* [online] 2013. [cit. 12. 11. 2017] Dostupné z: <<https://www.engadget.com/2013/10/01/volkswagen-augmented-reality-ipad-manual-xl1/>>.
- [25] Volvo taps Hololens to change how they build and you buy their cars. *Geek.com* [online] 2015. [cit. 12. 11. 2017] Dostupné z: <<https://www.geek.com/microsoft/volvo-taps-hololens-to-change-how-they-build-and-you-buy-their-cars-1640022/>>
- [26] Bosch banks on Augmented Reality applications for workshops, trainings and sales. *Robert Bosch GmbH* [online] 2015. [cit. 13. 11. 2017] Dostupné z: <<http://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/bosch-banks-on-augmented-reality-applications-for-workshops-trainings-and-sales-42966.html>>
- [27] Boeing is using Google Glass to build airplanes. *The Verge* [online] 2016. [cit. 25. 11. 2017] Dostupné z: <<https://www.theverge.com/2016/7/14/12189574/boeing-google-glass-ar-building-airplane-parts>>
- [28] Four areas where Augmented Reality is reforming manufacturing. *Linkedin* [online] 2017. [cit. 25. 11. 2017] Dostupné z: <<https://www.linkedin.com/pulse/four-areas-where-augmented-reality-reforming-torbj%C3%B8rn-netland>>
- [29] Putting knowledge where you need it. *Scope AR* [online] 2017. [cit. 25. 11. 2017] Dostupné z: <<https://www.scopear.com/>>

- [30] Scope AR releases AR platform for repair manuals. *Hypergrid Business* [online] 2016. [cit. 25. 11. 2017] Dostupné z: <<http://www.hypergridbusiness.com/2016/06/scopear-releases-ar-platform-for-repair-manuals/>>
- [31] Gravity Jack announces PoindextAR technology, unlocking AR for any real world object. *Gravity Jack* [online] 2017. [cit. 25. 11. 2017] Dostupné z: <<https://gravityjack.com/adroit/augmented-reality-company-gravity-jack-announces-poindextar-technology-unlocking-ar-real-world-object/>>
- [32] Unity, *Company facts about Unity* [online]. © 2018 Unity Technologies [cit. 10. 3. 2018] Dostupné z: <<https://unity3d.com/public-relations>>.
- [33] FEJFAROVÁ Lucie. *Využití virtuálních montážních návodek*. [online]. 2016 [cit. 29. 3. 2018] Dostupné z: <https://portal.zcu.cz/portal/studium/prohlizeni.html?pc_pagenavigationalstate=H4sIAAAAAAAAAAGNgYGBkYDM1MrMwMBNmZADxOIpLEktSvVMrwTwRXUsjI2NjcyMDYzMLUxNzc2NDSwugDAMAPILK-zoAAAA*#prohlizeniSearchResult>.
- [34] ŠULC, Jan. *Porovnání přístupů pro tvorbu virtuálních návodek*. Plzeň, 2018. Diplomova práce. Zapadoceska univerzita v plzni. (Zatim nepublikovano) [cit. 16. 5. 2018]

- [o1] Obrázek 1. 1: Pohledy na skutečné a virtuální prostředí – vlastní tvorba. Zdroj: In.: *cdn.photographylife.com* [online]. 2005. [cit. 24. 10. 2017] Dostupné z: <https://cdn.photographylife.com/wp-content/uploads/2015/08/BB_Suset-1-of-1-650x333.jpg>.
- [o2] Obrázek 1. 1: Pohledy na skutečné a virtuální prostředí – vlastní tvorba. Zdroj: In.: *http://cdn-games.bigfishsites.com* [online]. 2017. [cit. 24. 10. 2017] Dostupné z: <http://cdn-games.bigfishsites.com/en_new-york-mysteries-secrets-of-the-mafia-ce/screen1.jpg>.
- [o3] Obrázek 1. 2: Zařazení smíšené reality dle Paula Milgrama a Fumia Kishina z roku 1994 – vlastní tvorba. Zdroj: In.: *cdn-images-1.medium.com* [online]. 1994. [cit. 24. 10. 2017] Dostupné z: <https://cdn-images-1.medium.com/max/1600/1*v2qgXOAKIMsRKTfrI-VLkQ.png>.
- [o4] Obrázek 1. 3: Překryvy v AR – vlastní tvorba. Zdroj: In.: *barnraisersllc.com* [online]. 2017. [cit. 28. 10. 2017] Dostupné z: <<http://barnraisersllc.com/wp-content/uploads/2017/07/createtomorrow-augmentedreality-grid.jpg>>.
- [o5] Obrázek 1. 3: Překryvy v AR – vlastní tvorba. Zdroj: In.: *youtube.com* [online]. 2013. [cit. 28. 10. 2017] Dostupné z: <<https://i.ytimg.com/vi/fv71Pe9kTU0/maxresdefault.jpg>>.
- [o6] Obrázek 1. 4: Ukázka rozšířené virtuality v 5D kině Zdroj: In.: *7dcine.com* [online]. 2014. [cit. 28. 10. 2017] Dostupné z: <<http://www.7dcine.com/wp-content/uploads/2014/01/5d-cinema3.jpg>>.
- [o7] Obrázek 1. 5: Další ukázky AV Zdroj: In.: *areyouscreening.com* [online]. 2009. [cit. 28. 10. 2017] Dostupné z: <<http://www.areyouscreening.com/wp-content/uploads/2009/03/ea-sports-active.jpg>>.
- [o8] Obrázek 1. 5: Další ukázky AV Zdroj: In.: *basilic.informatik.uni-hamburg.de* [online]. 2009. [cit. 28. 10. 2017] Dostupné z: <https://basilic.informatik.uni-hamburg.de/Publications/2009/SBRH09a/rathaus_final.png>.
- [o9] Obrázek 1. 6: Rozdíly jednotlivých realit – vlastní tvorba. Zdroj: In.: *fml.mw.tum.de* [online]. 2009. [cit. 28. 10. 2017] Dostupné z: <http://www.fml.mw.tum.de/fml/images/Ausstattung/AR/milgram_641.jpg>.
- [o10] Obrázek 2. 1: Technologie zobrazení AR a VR. Zdroj: In.: *hiddenbrains.com* [online]. 2017. [cit. 18. 11. 2017] Dostupné z: <<http://www.hiddenbrains.com/blog/wp-content/uploads/2017/09/img-1-min.png>>.
- [o11] Obrázek 2. 2: Příklad promítání snímků Shaderovou lampou. Zdroj: In.: *researchgate.net* [online]. 2001. [cit. 18. 11. 2017] Dostupné z: <https://www.researchgate.net/profile/Kok_Lim_Low/publication/2495587/figure/fig2/AS:279820756897813@1443725875931/Figure-4A-An-example-of-Shader-Lamps-The-top-figure-shows-a-scaled-down-wooden-model-of.png>.
- [o12] Obrázek 2. 3: Příklad promítání na stůl. Zdroj: In.: *humr.cz* [online]. 2016. [cit. 18. 11. 2017] Dostupné z: <<http://www.humr.cz/content/uploads/18-may-2016/wow/nahled-pinces-ar-750x375.jpg>>.
- [o13] Obrázek 2. 4: Projektor na mobilním zařízení Lenovo Smart Cash – vlastní tvorba. Zdroj: In.: *youtube.com* [online]. 2015. [cit. 18. 11. 2017] Dostupné z: <<https://youtu.be/JwBem1UI8dk>>.

- [o14] Obrázek 2. 5: Schéma optical see-through – vlastní tvorba. Zdroj: In.: *arwestpo.org* [online]. 2016. [cit. 18. 11. 2017] Dostupné z: <<http://www.arwestpo.org/images/Optical%20HMD%20Diagram.png>>.
- [o15] Obrázek 2. 6: Poloprůhledné brýle Google glass. Zdroj: In.: *svetandroida.cz* [online]. 2017. [cit. 18. 11. 2017] Dostupné z: <<https://www.svetandroida.cz/media/2017/07/br%C3%BDle-google-glass-752x495.jpg>>.
- [o16] Obrázek 2. 7: Poloprůhledné brýle Vuzix. M3000 Zdroj: In.: *vuzix.com* [online]. 2017. [cit. 18. 11. 2017] Dostupné z: <https://d2iankuf53zudv.cloudfront.net/Content/CES/M3000/1_v1.png>.
- [o17] Obrázek 2. 8: Náhlavní displej Meta 2. Zdroj: In.: *vrlife.news* [online]. 2016. [cit. 18. 11. 2017] Dostupné z: <<https://www.vrlife.news/wp-content/uploads/2016/04/meta-2-development-kit-hands-on-augmented-reality-headset-AR-3.jpg>>.
- [o18] Obrázek 2. 9: Náhlavní displej HoloLens. Zdroj: In.: *txstate-epdc.net* [online]. 2016. [cit. 18. 11. 2017] Dostupné z: <<https://www.txstate-epdc.net/wp-content/uploads/2016/02/Hololens-double.jpg>>.
- [o19] Obrázek 2. 10: Kontaktní čočky pro AR. Zdroj: In.: *businessinsider.com* [online]. 2014. [cit. 19. 11. 2017] Dostupné z: <<http://static3.businessinsider.com/image/534d724969bedd2e5f106b03/google-wants-to-create-smart-contact-lenses-with-cameras-inside.jpg>>
- [o20] Obrázek 2. 11: Schéma video see-through – vlastní tvorba. Zdroj: In.: *blairmacintyre.github.io* [online]. 2017. [cit. 19. 11. 2017] Dostupné z: <<https://blairmacintyre.github.io/philly-etech-2017/resources/textures/azuma-AR-video-mix.png>>.
- [o21] Obrázek 2. 12: Náhlavní displej Trivisio SXGA61-3D. Zdroj: In.: *trivisio.com* [online]. 2016. [cit. 19. 11. 2017] Dostupné z: <https://static.wixstatic.com/media/f221b8_db8d5ba8aeb45eea9001e23704982d9~mv2.png/v1/fill/w_371,h_296,al_c,usm_0.66_1.00_0.01/f221b8_db8d5ba8aeb45eea9001e23704982d9~mv2.png>.
- [o22] Obrázek 2. 13: Náhlavní displej Visette 45 SXGA. Zdroj: In.: *decom.ufop.br* [online]. 2016. [cit. 19. 11. 2017] Dostupné z: <<http://www.decom.ufop.br/imobilis/wp-content/uploads/2016/01/Figura3.png>>.
- [o23] Obrázek 2. 14: Náhlavní displej zSight-1920. Zdroj: In.: *sensics.com* [online]. 2015. [cit. 19. 11. 2017] Dostupné z: <https://i2.wp.com/sensics.com/wp-content/uploads/2015/07/S1920x1080_20140516_182943.jpg?fit=1440%2C1080>.
- [o24] Obrázek 2. 15: Letecký simulátor JetMax. Zdroj: In.: *cobrasimulation.com* [online]. 2013. [cit. 19. 11. 2017] Dostupné z: <<http://www.cobrasimulation.com/about-cobra/news/cobra-simulation-press-releases/6>>.
- [o25] Obrázek 2. 16: Náhlavní souprava Oculus Rift. Zdroj: In.: *amazon.co.uk* [online]. 2017. [cit. 19. 11. 2017] Dostupné z: <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61Bu1K-HCIL._SX425_.jpg>.
- [o26] Obrázek 2. 17: Náhlavní souprava HTC Vive. Zdroj: In.: *heuréka.cz* [online]. 2017. [cit. 19. 11. 2017] Dostupné z: <<https://im9.cz/iR/importprodukt-orig/99e/99e3af5c969aa4918fc5498947789243.jpg>>.

- [o27] Obrázek 2. 18: Náhlavní souprava Sony PlayStation VR. Zdroj: In.: *playstation.com* [online]. 2017. [cit. 19. 11. 2017] Dostupné z: <[https://psmedia.playstation.com/is/image/psmedia/ps-vr-product-shots-screen-02-ps4-eu-14oct16?\\$MediaCarousel_Original\\$](https://psmedia.playstation.com/is/image/psmedia/ps-vr-product-shots-screen-02-ps4-eu-14oct16?$MediaCarousel_Original$)>.
- [o28] Obrázek 2. 19: Náhlavní souprava Samsung Gear VR. Zdroj: In.: *theverge.com* [online]. 2017. [cit. 19. 11. 2017] Dostupné z: <[https://cdn.vox-cdn.com/thumbor/gGnc6akis6oEpan1RSchZ5fHUoA=/0x0:640x427/1200x800/filters:focal\(460x242:562x344\)/cdn.vox-cdn.com/uploads/chorus_image/image/53431731/newgearvr.0.jpg](https://cdn.vox-cdn.com/thumbor/gGnc6akis6oEpan1RSchZ5fHUoA=/0x0:640x427/1200x800/filters:focal(460x242:562x344)/cdn.vox-cdn.com/uploads/chorus_image/image/53431731/newgearvr.0.jpg)>.
- [o29] Obrázek 2. 20: Náhlavní souprava Google Daydream View. Zdroj: In.: *beyondinfinity.com.au* [online]. 2016. [cit. 19. 11. 2017] Dostupné z: <<http://beyondinfinity.com.au/wp-content/uploads/2016/11/google-daydream-view-580x358.jpeg>>.
- [o30] Obrázek 3. 1: Návodka Hyundai Virtual Guide v provozu. Zdroj: In.: *dpccars.com* [online]. 2015. [cit. 11. 11. 2017] Dostupné z: <<http://www.dpccars.com/blog/wp-content/uploads/2015/11/Hyundai-to-launch-an-augmented-reality-owner%E2%80%99s-manual-app-2.jpg>>.
- [o31] Obrázek 3. 1: Návodka Hyundai Virtual Guide v provozu. Zdroj: In.: *slashgear.com* [online]. 2015. [cit. 11. 11. 2017] Dostupné z: <<https://www.slashgear.com/hyundai-steps-into-the-future-with-augmented-reality-manual-11414065/#jp-carousel-414071jpg>>.
- [o32] Obrázek 3. 2: Návodka pro vyvinuté brýle BMW. Zdroj: In.: *experenti.eu* [online]. 2015. [cit. 12. 11. 2017] Dostupné z: <<http://www.experenti.eu/wp-content/uploads/2015/02/bmw1.jpg>>.
- [o33] Obrázek 3. 3: Možný vzhled nových brýlí BMW. Zdroj: In.: *mashable.com* [online]. 2015. [cit. 12. 11. 2017] Dostupné z: <[https://i.amz.mshcdn.com/8D0oj25zh7YbD45pdgcoIIC1gbM=/950x534/filters:quality\(90\)/2015%2F04%2F20%2Fb1%2Fminiargoggl.28217.jpg](https://i.amz.mshcdn.com/8D0oj25zh7YbD45pdgcoIIC1gbM=/950x534/filters:quality(90)/2015%2F04%2F20%2Fb1%2Fminiargoggl.28217.jpg)>.
- [o34] Obrázek 3. 4: Ukázka aplikace MARTA od Volkswagenu. Zdroj: In.: *Engadget* [online]. 2013. [cit. 12. 11. 2017] Dostupné z: <<https://www.engadget.com/2013/10/01/volkswagen-augmented-reality-ipad-manual-x11/>>.
- [o35] Obrázek 3. 5: Ukázka virtuální návodky v montážní dílně společnosti Volvo. Zdroj: In.: *Geek.com* [online]. 2015. [cit. 12. 11. 2017] Dostupné z: <<https://www.geek.com/wp-content/uploads/2015/11/volvo-holo-2-590x330.jpg>>.
- [o36] Obrázek 3. 6: Virtuální návodky běžící na platformě od společnosti Bosch. Zdroj: In.: *linkedin.com* [online]. 2017. [cit. 13. 11. 2017] Dostupné z: <<https://media.licdn.com/mpr/mpr/AAEAAQAAAAAAAAAsuAAAAJGY1MzZlYTNiLTUwYWVlNDg0Ny05NTI3LWE1MmY4NzhhYjFhMQ.jpg>>.
- [o37] Obrázek 3. 7: Virtuální návodky společnosti Boeing. Zdroj: In.: *aviationcv.com* [online]. 2016. [cit. 25. 11. 2017] Dostupné z: <https://www.aviationcv.com/aviation-blog/wp-content/uploads/2016/09/boeing-smartglasses-glass-skylight-100671458-large.idge_0.jpg>.

- [o38] Obrázek 3. 7: Virtuální návodky společnosti Boeing. Zdroj: In.: *engineering.com* [online]. 2015. [cit. 25. 11. 2017] Dostupné z: <https://res.cloudinary.com/engineering-com/image/upload/w_640,h_640,c_limit/Boeing-augmented-reality_olkby1.jpg>.
- [o39] Obrázek 3. 8: Virtuální návodky společnosti Airbus. Zdroj: In.: *immersion.fr* [online]. 2016. [cit. 25. 11. 2017] Dostupné z: <http://www.immersion.fr/wp-content/uploads/2016/05/testial_325x266.png>.
- [o40] Obrázek 3. 8: Virtuální návodky společnosti Airbus. Zdroj: In.: *intelligent-aerospace.com* [online]. 2016. [cit. 25. 11. 2017] Dostupné z: <<http://aemstatic-ww2.azureedge.net/content/dam/avi/online-articles/2016/04/SART.JPG>>.
- [o41] Obrázek 3. 9: Ukázka virtuálních návodek ve WorkLink. Zdroj: In.: *hypergridbusiness.com* [online]. 2016. [cit. 25. 11. 2017] Dostupné z: <<https://virtualrealityreporter.com/wp-content/uploads/2016/06/augmented-reality-app.jpg>>.
- [o42] Obrázek 3. 9: Ukázka virtuálních návodek ve WorkLink. Zdroj: In.: *148apps.com* [online]. 2016. [cit. 25. 11. 2017] Dostupné z: <<http://media.148apps.com/screenshots/1087183506/us-ipad-3-scope-ar-worklink.jpeg>>.
- [o43] Obrázek 3. 10: Virtuální návodka s technologií PoindexAR. Zdroj: In.: *techcrunch.com* [online]. 2017. [cit. 25. 11. 2017] Dostupné z: <<http://media.148apps.com/screenshots/1087183506/us-ipad-3-scope-ar-worklink.jpeg>>.
- [o44] Obrázek 4.1: Procentuální rozdělení softwarů pro vytváření tisícovky nejlepších mobilních her. Zdroj: In.: *unity3d.com* [online]. 2018. [cit. 10. 3. 2018] Dostupné z: <<https://unity3d.com/profiles/unity3d/themes/unity/images/company/pr/unity-video-game-market.jpg>>.

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Pohledy na skutečné a virtuální prostředí [o1] a [o2].....	12
Obrázek 1.2: Zařazení smíšené reality dle P. Milgrama a F. Kishina z roku 1994 [o3]	12
Obrázek 1.3: Překryvy v AR [o4] a [o5]	13
Obrázek 1.4: Ukázka rozšířené virtuality v 5D kině [o6]	14
Obrázek 1.5: Další ukázky AV[o7] a [o8]	14
Obrázek 1.6: Rozdíly jednotlivých realit [o9].....	15
Obrázek 2.1: Technologie zobrazení AR a VR [o10]	16
Obrázek 2.2: Příklad promítání snímků Shaderovou lampou [o11].....	17
Obrázek 2.3: Příklad promítání na stůl [o12].....	17
Obrázek 2.4: Projektor na mobilním zařízení Lenovo Smart Cash [o13].....	17
Obrázek 2.5: Schéma optical see-through [o14]	18
Obrázek 2.6: Poloprůhledné brýle Google glass [o15]	18
Obrázek 2.7: Poloprůhledné brýle Vuzix M3000 [o16].....	19
Obrázek 2.8: Náhlavní displej Meta 2 [o17]	19
Obrázek 2.9: Náhlavní displej HoloLens [o18]	19
Obrázek 2.10: Kontaktní čočky pro AR [o19]	20
Obrázek 2.11: Schéma video see-through [o20]	20
Obrázek 2.12: Náhlavní displej Trivisio SXGA61-3D [o21]	21
Obrázek 2.13: Náhlavní displej Visette 45 SXGA [o22]	21
Obrázek 2.14: Náhlavní displej zSight-1920 [o23].....	21
Obrázek 2.15: Letecký simulátor JetMax [o24].....	22
Obrázek 2.16: Náhlavní souprava Oculus Rift [o25].....	23
Obrázek 2.17: Náhlavní souprava HTC Vive [o26].....	23
Obrázek 2.18: Náhlavní souprava Sony PlayStation VR [o27]	24
Obrázek 2.19: Náhlavní souprava Samsung Gear VR [o28]	24
Obrázek 2.20: Náhlavní souprava Google Daydream View [o29]	24
Obrázek 3.1: Návodka Hyundai Virtual Guide v provozu [o30] a [o31].....	26
Obrázek 3.2: Návodka pro vyvinuté brýle BMW [o32].....	27
Obrázek 3.3: Možný vzhled nových brýlí BMW [o33]	27
Obrázek 3.4: Ukázka aplikace MARTA od Volkswagenu [o34].....	28
Obrázek 3.5: Ukázka virtuální návodky v montážní dílně společnosti Volvo [o35]	28
Obrázek 3.6: Virtuální návodky běžící na platformě od společnosti Bosch [o36]	29
Obrázek 3.7: Virtuální návodky společnosti Boeing [o37] a [o38]	30

Obrázek 3.8: Virtuální návodky společnosti Airbus [o39] a [o40]	31
Obrázek 3.9: Ukázka virtuálních návodků ve WorkLink [o41] a [o42].....	32
Obrázek 3.10: Virtuální návodka s technologií PoindextAR [o43]	32
Obrázek 4.1: Procentuální užití SW pro tvorbu mobilních her [o44]	33
Obrázek 4.2: Rozhraní Unity 3D [vlastní tvorba]	34
Obrázek 4.3: Složka virtuální montážní příručky <i>AnimationParent</i> [vlastní tvorba]	35
Obrázek 4.4: Obsah podsložky <i>AnimationHolder</i> [vlastní tvorba]	36
Obrázek 4.5: Obsah animačního kroku <i>AnimationStep</i> [vlastní tvorba].....	36
Obrázek 4.6: Obsah podsložky <i>AnimationElement</i> [vlastní tvorba]	37
Obrázek 5.1: Osvětlené pozice potřebných dílů [vlastní tvorba]	39
Obrázek 5.2: Pohled na scénu montážní návodky [vlastní tvorba]	40
Obrázek 7.1: Pohled na montážní pracoviště [vlastní tvorba]	44
Obrázek 7.2: Pohled na pracoviště pro montáž sifonu [vlastní tvorba]	44
Obrázek 10.1: Schéma rozebrané klávesnice [vlastní zpracování]	65
Obrázek 10.2: Vytvořený dvoutlačítkový ovladač [vlastní zpracování]	65

Seznam grafů

Graf 9-1: Časový průběh jednotlivých pokusů u 1. dobrovolníka [vlastní tvorba].....	47
Graf 9-2: Časový průběh jednotlivých pokusů u 2. dobrovolníka [vlastní tvorba].....	49
Graf 9-3: Časový průběh jednotlivých pokusů u 3. dobrovolníka [vlastní tvorba].....	49
Graf 9-4: Časový průběh jednotlivých pokusů u 4. dobrovolníka [vlastní tvorba].....	50
Graf 9-5: Časový průběh jednotlivých pokusů u 5. dobrovolníka [vlastní tvorba].....	51
Graf 9-6: Časový průběh jednotlivých pokusů u 6. dobrovolníka [vlastní tvorba].....	52
Graf 9-7: Časový průběh jednotlivých pokusů u 7. dobrovolníka [vlastní tvorba].....	53
Graf 9-8: Časový průběh jednotlivých pokusů u 8. dobrovolníka [vlastní tvorba].....	54
Graf 9-9: Časový průběh jednotlivých pokusů u 9. dobrovolníka [vlastní tvorba].....	55
Graf 9-10: Časový průběh jednotlivých pokusů u 10. dobrovolníka [vlastní tvorba].....	56
Graf 9-11: Časový průběh jednotlivých pokusů u 11. dobrovolníka [vlastní tvorba].....	57
Graf 9-12: Časový průběh jednotlivých pokusů u 12. dobrovolníka [vlastní tvorba].....	58
Graf 9-13: Časový průběh jednotlivých pokusů u 13. dobrovolníka [vlastní tvorba].....	59
Graf 9-14: Časový průběh jednotlivých pokusů u 14. dobrovolníka [vlastní tvorba].....	60
Graf 9-15: Časový průběh jednotlivých pokusů u 15. dobrovolníka [vlastní tvorba].....	61
Graf 9-16: Srovnání všech naměřených času od 15 dobrovolníků [vlastní tvorba].....	63
Graf 9-17: Srovnání časů potřebných pro montáž u žen [vlastní tvorba]	63
Graf 9-18: Srovnání časů potřebných pro montáž u mužů [vlastní tvorba]	64
Graf 9-19: Grafické srovnání časů nejrychlejšího muže a ženy [vlastní tvorba]	64
Graf 10-1: Časové porovnání montáže podle dvou typů ovládaní [vlastní tvorba]	66
Graf 11-1: Srovnání průměrných časů montáže podle papírové a virtuální návodky [vlastní tvorba]	68
Graf 11-2: Srovnání průměrných časů montáže podle virtuální návodky s osvětlením a bez [vlastní tvorba]	68
Graf 11-3: Srovnání průměrných časů montáže podle virtuální a video návodky [vlastní tvorba]	69

Seznam tabulek

Tabulka 5-1: Seznam použitých tlačítek v návodce [vlastní tvorba]	38
Tabulka 6-1: Průměrné časy činností [33]	41
Tabulka 6-2: Naměřené hodnoty pro sestavování sifonu podle papírové návodky [33]	42
Tabulka 6-3: Naměřené hodnoty pro sestavování sifonu podle virtuální návodky [33]	43
Tabulka 8-1: Formulář k získání informací o testovaném subjektu [vlastní tvorba]	45
Tabulka 9-1: Naměřené hodnoty u 1. dobrovolníka [vlastní tvorba]	48
Tabulka 9-2: Naměřené hodnoty u 2. dobrovolníka [vlastní tvorba]	48
Tabulka 9-3: Naměřené hodnoty u 3. dobrovolníka [vlastní tvorba]	49
Tabulka 9-4: Naměřené hodnoty u 4. dobrovolníka [vlastní tvorba]	50
Tabulka 9-5: Naměřené hodnoty u 5. dobrovolníka [vlastní tvorba]	51
Tabulka 9-6: Naměřené hodnoty u 6. dobrovolníka [vlastní tvorba]	52
Tabulka 9-7: Naměřené hodnoty u 7. dobrovolníka [vlastní tvorba]	53
Tabulka 9-8: Naměřené hodnoty u 8. dobrovolníka [vlastní tvorba]	54
Tabulka 9-9: Naměřené hodnoty u 9. dobrovolníka [vlastní tvorba]	55
Tabulka 9-10: Naměřené hodnoty u 10. dobrovolníka [vlastní tvorba]	56
Tabulka 9-11: Naměřené hodnoty u 11. dobrovolníka [vlastní tvorba]	57
Tabulka 9-12: Naměřené hodnoty u 12. dobrovolníka [vlastní tvorba]	58
Tabulka 9-13: Naměřené hodnoty u 13. dobrovolníka [vlastní tvorba]	59
Tabulka 9-14: Naměřené hodnoty u 14. dobrovolníka [vlastní tvorba]	60
Tabulka 9-15: Naměřené hodnoty u 15. dobrovolníka [vlastní tvorba]	61
Tabulka 9-16: Výsledné časy montáže dřezového sifonu [vlastní tvorba]	62
Tabulka 10-1: Výsledné časy montáže dřezového sifonu s použitím ovladače [vlastní tvorba]	66
Tabulka 11-1: Srovnání průměrných časů montáže podle různých druhů návodků [vlastní tvorba]	67

Seznam příloh

PŘÍLOHA č. 1 - Potřebné díly a nářadí pro montáž dřezového sifonu	82
PŘÍLOHA č. 2- Postup montáže podle vytvořené virtuální návodky	84







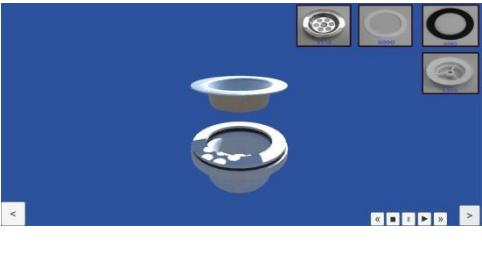
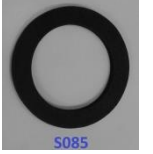





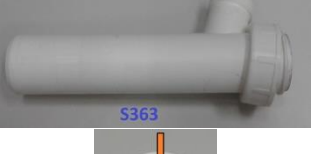

Přílohy

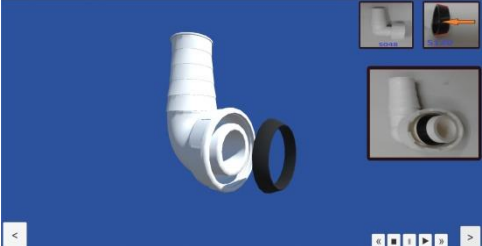
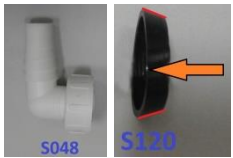





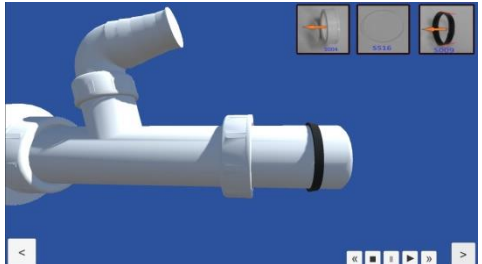

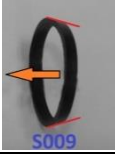
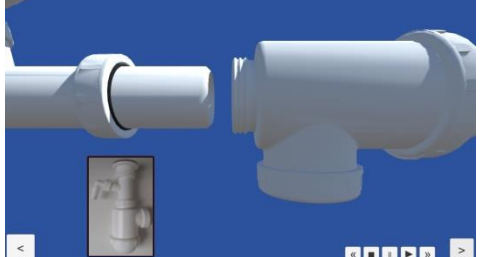

PŘÍLOHA č. 1 - Potřebné díly a nářadí pro montáž dřezového sifonu





PŘÍLOHA č. 2- Postup montáže podle vytvořené virtuální návodky

Číslo kroku	Animační prvky	Ukázka z Unity 3D	Potřebné díly a nářadí
1. Krok	Posunutí S354		 S354
	Šroubování S354		
2. Krok	Vložení S381		 S381
	Vložení S517		 S517
	Posunutí S352		 S352
	Šroubování S352		
3. Krok	Vložení S085		 S085
	Vložení S090		 S090
	Vložení S116		 S116
4. Krok	Posunutí S014		 S014
	Šroubování S014		
5. Krok	Posunutí P050		 S363
			 P050

6. Krok	Vložení S120		
7. Krok	Posunutí S048		 
	Posunutí zbytek		
	Šroubování S048		
8. Krok	Vložení S323		
	Posunutí S305 Komplet		
	Šroubování S305		
9. Krok	Vložení S004		 
	Vložení S516		
	Vložení S009		
10. Krok	Posunutí S353 komplet		
	Posunutí S004 komplet		
	Šroubování S004		
11. Krok	Konec	