

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

**Studijní program:** N0715A270012 - Průmyslové inženýrství a management  
**Studijní specializace:** Bez specializace

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Navigace ve vnitřních nebo venkovních skladech pomocí rozšířené reality**

**Autor:** Bc. Eliška MERTLOVÁ  
**Vedoucí práce:** doc. Ing. Petr HOŘEJŠÍ, Ph.D

Akademický rok 2023/2024

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta strojní  
Akademický rok: 2023/2024

Studijní program: Průmyslové inženýrství a management  
Forma studia: Prezenční

## Podklad pro zadání DIPLOMOVÉ práce studenta

Jméno a příjmení: **Bc. Eliška MERTLOVÁ**  
Osobní číslo: **S22N0015P**  
Adresa: **Nebílovský Borek 85, Štěnovický Borek – Nebílovský Borek, 33209 Štěnovice, Česká republika**  
Téma práce: **Navigace ve vnitřních nebo venkovních skladech pomocí rozšířené reality**  
Téma práce anglicky: **Indoor or outdoor warehouse navigation using augmented reality**  
Jazyk práce: **Čeština**  
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Petr Hořejší, Ph.D.**  
**Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

### Zásady pro vypracování:

Navigaci pomocí rozšířené reality sice běžní konzumenti vnímají jako vyřešený problém, v případě průmyslových podniků však stále tento problém není vyřešen a existuje celá řada problémů. Tato práce bude navazovat na diplomovou práci, která byla zadána v akademické roce 2022/23, kde byl realizován systém inerciální navigace ve vnitřním skladu a současně bude navazovat na návrh vnějších navigačního systému, který byl vytvořen na KPV. Cílem této práce porovnat a rozšířit oba koncepty.

1. Úvod do problematiky
2. Hardwarové a softwarové prostředky
3. Analýza současných řešení
4. Návrh řešení
5. Realizace
6. Zhodnocení a závěr

### Seznam doporučené literatury:

- Okita, A., Learning C# Programming with Unity 3D, second edition, Routledge 2019, ISBN-13: 978-1138336810
- Sung, K., Smith, G., Basic Math for Game Development with Unity 3D: A Beginner's Guide to Mathematical Foundations, Apress 2019, ISBN 978-1484254424
- Linowes, J., Unity 2020 Virtual Reality Projects: Learn VR development by building immersive applications and games with Unity 2019.4 and later versions, 3rd Edition, Packt Publishing 2020, ISBN 978-1839217333
- LaValle, S. M., Virtual Reality, Cambridge University Press 2023, dostupné online na <http://lavalle.pl/vr/>
- Oficiální Unity3D návody dostupné na <https://learn.unity.com/>

## Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Mertlová</b>		<b>Eliška</b>		
<b>STUDIJNÍ PROGRAM</b>	N0715A270012 Průmyslové inženýrství a management				
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Doc. Ing. Hořejší, Ph.D.		<b>Jméno</b> Petr		
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KPV				
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>		<b>Nehodící se škrtněte</b>	
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Navigace ve vnitřních nebo venkovních skladech pomocí rozšířené reality				
<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KPV	<b>ROK ODEVZD.</b>	2024

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	57	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	50	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	7
<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b>					
<b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>					
		<p>Tato diplomová práce řeší problematiku rozšířené reality a navigace pomocí rozšířené reality. V teoretické části se zaměřuje na představení možností navigace za využití rozšířené reality. V části praktické je popsána metodika komparativního měření, které následně bylo provedeno. Byly zkoumány tři metody navigace v různých stupních obtížnosti. Vyhodnocení výsledků bylo provedeno se zaměřením na použitelnost systému testované AR aplikace, pocíťovanou zátěž a spolehlivost aplikace. V závěru práce bylo provedeno zhodnocení měření a přínosů práce, které naznačily možnosti dalšího zkoumání.</p>			
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>					
<b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>					
		<p>Rozšířená realita, Vavigace, sklad, ARCore, AR Foundation, Unity, Obrazové rozpoznávání okolí</p>			

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	Mertlová		Eliška		
<b>STUDY PROGRAMME</b>	N0715A270012 Industrial Engineering and Management				
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Doc. Ing. Hořejší, Ph.D.		<b>Name</b> Petr		
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KPV				
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<del><b>BACHELOR</b></del>	<b>Delete when not applicable</b>		
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Indoor or outdoor warehouse navigation using augmented reality				
<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Industrial Engineering and Management	<b>SUBMITTED IN</b>	2024

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	57	<b>TEXT PART</b>	50	<b>GRAPHICAL PART</b>	7
<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	<p>This thesis deals with the issue of augmented reality and navigation using augmented reality. In the theoretical part, it focuses on the presentation of navigation options using augmented reality. In the practical part, the methodology of the comparative measurement, which was subsequently carried out, is described. Three methods of navigation were investigated at different degrees of difficulty. The evaluation of the results was carried out with a focus on the usability of the tested AR application system, the perceived load and the reliability of the application. At the end of the work, an evaluation of the measurements and benefits of the work was carried out, which indicated the possibilities of further investigation.</p>				
<b>KEY WORDS</b>	<p>Augmented reality, Navigation, storage, ARCore, AR Foundation, Unity, Image recognition</p>				

## Obsah

Úvod.....	12
1 Seznámení s problematikou .....	13
1.1 Navigace.....	13
1.2 Rozšířená realita .....	14
Rozdíly AR vs VR.....	14
1.3 Navigace pomocí AR .....	17
1.3.1 Majáky (Beacons) .....	18
1.3.2 Markerless Navigace .....	20
1.3.3 SLAM.....	21
2 Vybavení potřebné pro rozšířenou realitu.....	25
2.1 Hardwarové komponenty .....	25
3 Analýza současných řešení AR navigace.....	28
3.1 IndoAR od ViewAR.....	28
3.2 Head-up displej Volkswagen .....	28
3.3 Studie ZČU.....	29
4 Návrh řešení .....	31
4.1 Aplikace .....	31
4.2 Metodika měření .....	34
4.2.1 Rozdělení variant měření .....	35
4.2.2 Prostor pro měření.....	36
4.2.3 Podmínky měření .....	36
4.2.4 Zaznamenávané údaje během měření .....	37
4.2.5 Dotazník NASA TLX.....	37
4.2.6 Stupnice použitelnosti systému (SUS).....	37
4.3 Průběh měření .....	38
4.3.1 Problémy při měření.....	44
4.3.2 Limitace měření.....	44
4.4 Výsledky měření .....	44
4.4.1 Nasa TLX .....	44
4.4.2 Stupnice použitelnosti systému SUS.....	50
4.4.3 Další výsledky .....	52
4.4.4 Interpretace výsledků .....	55
4.4.5 Porovnání výsledků s předchozí studií.....	57
5 Zhodnocení aplikace .....	59

6	Závěr.....	60
	Přílohy .....	i
	Příloha č.1: Dotazník NASA TLX .....	i
	Příloha č.2: Stupnice použitelnosti systému (SUS).....	ii
	Příloha č.3: Task List – seznam prováděných úkolů – krátká varianta.....	iii
	Příloha č.4: Task List – seznam prováděných úkolů – dlouhá varianta.....	iv
	Příloha č.5: Vizuální pomůcka k měření – mapa krátká .....	v
	Příloha č.6: Vizuální pomůcka – mapa dlouhá .....	vi
	Příloha č.7: Vizuální pomůcka – bez návratu (nepoužita při měření).....	vii

## Seznam obrázků

Obrázek 1-1 Zobrazení rozsahu a prolínání AR a VR [6].....	15	
Obrázek 1-2 Pracovník využívající AR aplikace [7] .....	16	
Obrázek 1-3 Znázornění rozdílů ve stupních prolnutí realit ]6].....	16	
Obrázek 1-4 Schéma funkcionality AR aplikace [9] .....	17	
Obrázek 1-5 Znázornění AR navigace v automobilu [11] .....	17	
Obrázek 1-6 Bluetooth beacon [13] .....	18	
Obrázek 1-7 Ukázka tří různých typů majáků [14].....	19	
Obrázek 1-8 Schéma funkcionality SLAM [18] .....	22	
Obrázek 1-9 Zobrazení snímání pomocí Visual SLAM [18].....	22	
Obrázek 1-10 Zobrazení snímaných bodů pomocí LiDAR SLAM [18].....	23	
Obrázek 1-11 Schéma funkcionality Motion sensor SLAM [19] .....	24	
Obrázek 1-12 Porovnání navádění bez a pomocí SLAM [18].....	24	
Obrázek 2-1 Chytré brýle od společnosti XREAL [27].....	26	
Obrázek 2-2 Apple vision pro od společnosti Apple [28].....	27	
Obrázek 3-1 Volkswagen AR navigace [11].....	29	
Obrázek: Seznam kroků procesu	Obrázek 4-1: Zobrazení panelu se seznamem kroků .....	32
Obrázek 4-2: Rozbalovací menu s posuvníkem	Obrázek 4-3: Vytvořené body zájmu .....	33
Obrázek 4-4: Propojení bodů s navigační linií rozbalovacího menu	Obrázek 4-5: Vložení bodů zájmu do 34	
Obrázek 4-6: 2D mapa - grafické zobrazení prostoru s úkoly .....		35
Obrázek 4-7: Ilustrační foto probanda z měření TXT .....		39
Obrázek 4-8: Ilustrační foto probanda z měření TXT - L .....		39
Obrázek 4-9: Ilustrační foto probanda z měření MAP - S .....		40
Obrázek 4-10: Ilustrační foto probanda z měření MAP - L .....		41
Obrázek 4-11: Ilustrační foto probanda z měření ARNAV .....		42
Obrázek 4-12: Ilustrační foto probanda z měření ARNAV .....		43
Obrázek 4-13: Ilustrační foto probanda z měření ARNAV .....		43
Obrázek 4-14: Škála pro vyhodnocování SUS dotazníku [26] .....		50



## Seznam grafů

Graf 1: Medián výsledků NASA TLX .....	45
Graf 2: Psychická zátěž .....	46
Graf 3: Fyzická zátěž.....	47
Graf 4: Časová náročnost .....	47
Graf 5: Kvalita výkonu.....	48
Graf 6: Vynaložené úsilí .....	49
Graf 7: Pociťovaná frustrace .....	50
Graf 8: Průměr výsledků SUS dotazníku .....	51
Graf 9: Výsledky jednotlivých otázek SUS dotazníku.....	51
Graf 10: Věkové zastoupení probandů.....	52
Graf 11: Porovnání časů úspěšného splnění zadání .....	53
Graf 12: Porovnání výskytu chyb.....	53
Graf 13 Spolehlivost aplikace v závislosti na vzdálenosti .....	54
Graf 14: Spolehlivost aplikace v závislosti na čase .....	55
Graf 15: Výsledky NASA TLX pro variantu s 2D mapou.....	56
Graf 16: Výsledky NASA TLX pro variantu s AR aplikací .....	56
Graf 17: Výsledky otázek SUS dotazníku pro výzkumné měření .....	58
Graf 18: Výsledky otázek SUS dotazníku z předchozí studie .....	58

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Výsledky SUS dotazníku dle variant navigace .....	51
Tabulka 2: Výskyt chyb dle metody navigace a probanda.....	54
Tabulka 3: Výsledky frustrace, vynaloženého úsilí a času splnění dle varianty .....	57

## **Seznam zkratek**

AR – Augmented reality

PoI – Point of view

GPS – Global positioning systém

IoT – Internet of things

Wi-Fi – Wireless fidelity

VR – Virtuální realita

MR – Mixed reality

QR – Quick response

RFID – Radio frequency identification

SLAM – Simultaneous localization and mapping

vSLAM – Visual simultaneous localization and mapping

IMU – Inertial measurement unit

LiDAR – Light detection and ranging

2D – Two dimensional

3D – Three dimensional

LOAM – Lidar Odometrie and Mapping

POI – Point of interest

## Úvod

Rozšířená realita je nově vznikající technologie, která hladce integruje digitální obsah s fyzickým prostředím uživatele a vytváří vylepšený a interaktivní zážitek. Systémy AR vyžadují kombinaci specializovaných hardwarových a softwarových komponent pro zachycení skutečného světa, sledování polohy a orientace uživatele a realistické vykreslení virtuálních prvků.

Tato kvalifikační práce poskytuje přehled klíčových hardwarových komponent, které umožňují AR zážitky. Pojednává o různých typech zobrazovacích zařízení, které jsou pro systémy AR nezbytné. Zobrazovací zařízení sahají od kapesních chytrých telefonů a tabletů až po specializované brýle pro AR a náhlavní soupravy.

Díky pochopení těchto komponent, které pohánějí systémy AR, mohou vývojáři a výzkumníci lépe navrhovat a implementovat inovativní aplikace AR v různých oblastech, od her a zábavy až po průmyslové aplikace a vzdělávání. Jak technologie AR pokračuje vpřed, integrace nově vznikajících technologií, jako je umělá inteligence, kvantové výpočty a internet věcí, dále posílí možnosti a potenciál rozšířené reality.

Orientace v neznámém prostředí je důležitou schopností, která umožňuje lidem efektivně se pohybovat a plnit úkoly. Tradiční způsoby navigace, jako jsou textové instrukce a 2D mapy, mají své výhody, ale mohou být náročné na porozumění a orientaci v prostoru. S rozvojem technologií se objevují nové možnosti, jako je navigace s využitím rozšířené reality (AR), která může zjednodušit a zpříjemnit proces navigace.

Praktická část práce se pak zaměřuje na porovnání tří způsobů navigace - textových instrukcí, 2D mapy, a navigace s využitím rozšířené reality. Cílem je zjistit, který způsob je nejefektivnější z hlediska přesnosti, rychlosti a subjektivní zátěže pro uživatele.

Výsledky této studie mohou pomoci designérům navigačních systémů a manažerům optimalizovat pracovní podmínky a zlepšit výkonnost uživatelů. Porovnání různých způsobů navigace může také přispět k lepšímu pochopení lidského vnímání prostoru a orientace.

# 1 Seznámení s problematikou

V poslední době je velkým trendem využití moderních technologií v podnicích. Jednou z těchto technologií je i rozšířená realita (AR). Její uplatnění je možné najít v mnoha ohledech jako například při vizualizaci a prezentaci produktů zákazníkům, při údržbě a opravách strojů, pro zlepšení školení a vzdělávání zaměstnanců. Dále je možné ji využít i pro usnadnění navigace v rámci podniku a jeho vnitřních prostor. Rozšířená realita v oblasti navigace a orientace v rámci podniku pak usnadňuje pohyb zaměstnanců i zákazníků a má za úkol zvyšovat celkovou efektivitu.

## 1.1 Navigace

Navigace je pro lidstvo velice důležitá již velmi dlouho, a nejen pro lidstvo, je známo, že i včely mají svůj způsob, jak si předat informace o poloze pomocí tance. Bez způsobu, jak uchovat a předat informace o trase a poloze bodů zájmu (PoI) by bylo velmi složité se k nim dostat. Ať už by šlo o místa, kde jsme dříve byli či nikoliv dostupnost informací, jak se k těmto místům dostat klíčový. Podobně jako je důležité mít tyto informace k dispozici je i možnost opětovně je získat či předat, aniž by je člověk musel mít uložené v paměti. Nejčastějším a nejčasnějším způsobem zaznamenávání takovýchto informací jsou mapy. Mapy již za dob starověku sloužily lidstvu k navigaci na dlouhé vzdálenosti, i v dnešní době je můžeme označit za nejpoužívanější způsob navigace v prostorech. Ale v dnešní době si většina populace pod pojmem navigace představí nějakou formu satelitní navigace pomocí GPS. [1]

GPS je sice pouze jednou z variant satelitní navigace, ale je jednou z neznámějších, a proto se stala téměř synonymem pro družicový polohovací systém. Může nám přijít jako samozřejmost ji využít. Navigace pomocí GPS je skvělá pro využití na větší vzdálenosti, ale má svá omezení. O'Donohue zmiňuje, že mezi hlavní problémy s používáním GPS je její přesnost. [2]

Kvůli různým chybám a nepřesnostem poskytuje standardní GPS určování polohy s přesností zhruba na 10 metrů. Později se objevila diferenciální GPS, ta pomocí signálů sítě pozemních referenčních stanic doplnila signály satelitní. Tato obohacená diferenciální GPS zlepšila přesnost na asi jeden metr. Přesnost na úrovni jednoho metru však stále nestačí pro využití některých nových technologií, jako jsou autonomní vozidla, přesné zemědělství a související aplikace. [3]

Problémy v navigaci pomocí GPS tím nekončí. Klasickou navigaci pomocí GPS, ale ve vnitřních prostorech lze jen složitě využít. Pro GPS navigaci je důležitý satelitní signál, který nemůže být spolehlivě přijímán ve vnitřních prostorech. GPS má často problémy ve vnitřních prostorech budov, kde je hlavní překážkou samotná budova, která zabraňuje pronikání signálu. Jasně a značně je tento problém demonstrován i pokud je navigace GPS používána v autě a řidič vjede s automobilem do tunelu, nebo se objeví jiné obdobné fyzické překážky. V takových případech záleží na velikosti překážky, ale přesnost navigace se prudce sníží a někdy i přestane fungovat. V budovách naštěstí nedochází k výpadkům v takovém měřítku, ale při požadavcích na přesnost v rámci centimetrů to je i tak velký problém. [4]

Ve venkovních prostorech a skladech by tedy bylo možné využít funkce GPS, ale problém, který v ten moment vyvstává je její přesnost. Přesnost GPS navigací se totiž běžně pohybuje mezi 5-15 metry, což může být dostatečná přesnost, pokud hledáme velký objekt jako například halu, budovu, nebo její křídlo. Přesnost 5-15 metrů není dostatečná, jakmile budeme hledat objekt menší, nebo budeme muset volit z více shodných objektů blízko sebe.

Pokud tedy není možné využít GPS navigaci musí se pracovníci uvnitř skladů orientovat jinak. Mezi alternativní řešení patří například IoT zařízení, Bluetooth majáky (beacons), Wi-Fi, využití markerů, nebo různých senzorů. U těchto možností je možné dosáhnout větší přesnosti v porovnání s GPS. (Grbenikov,2021)

## 1.2 Rozšířená realita

V dnešní době je možné se setkat s mnoha pojmy týkajícími se technologií a „realit“. Pojem virtuální realita (VR) je hojně využívaný a všeobecně známý, ale další prvky a rozdíly mezi nimi nejsou tak známé. Rozšířená realita je technologie spojující reálný svět a virtuální prvky. Digitální prvky v rozšířené realitě mají hlavně za úkol poskytovat dodatečné informace jejímu uživateli. Toto spojení digitálního světa a reálného prostředí má široké spektrum využití v mnoha oblastech, od zábavy a her po profesionální použití. Rozšířenou realitu je možné použít pro vizualizaci produktů pro klienty, při vývoji či navrhování, ve výuce a při školeních a při zjednodušení různých úkonů pro zaměstnance.

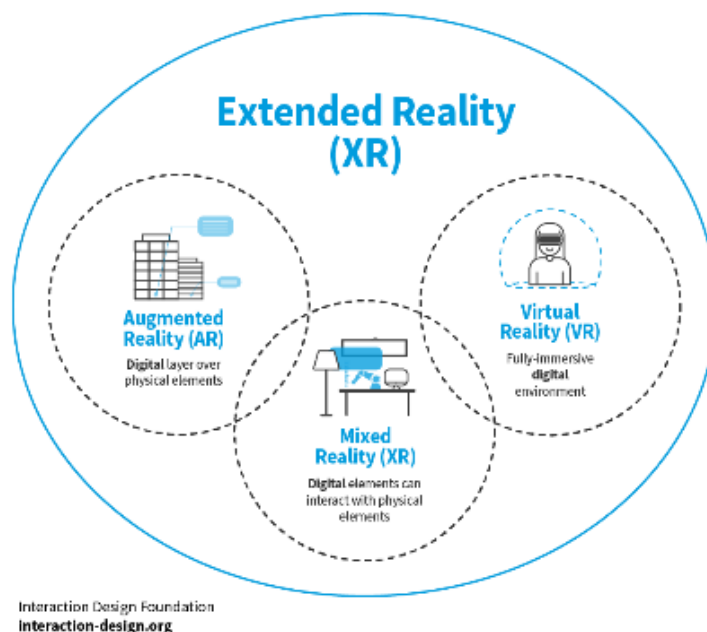
### Rozdíly AR vs VR

Dříve byla zmíněna i virtuální realita. Proč využívat rozšířenou realitu, pokud je k dispozici známější a lépe znějící technologie, která také zobrazuje digitální prvky. Pro to je hned několik důvodů. Rozšířená realita obvykle odkazuje na specifický způsob interaktivity, ve kterém zařízení působí jako zobrazovací médium, skrz nějž může uživatel zažít okolní prostředí obohacené o digitální obsah. Na rozdíl od toho jednou z možných definic virtuální reality je „imerze osoby v syntetickém prostředí“ [5]

Ve virtuální realitě jde o vytvoření umělého prostředí, do kterého by se měl uživatel ideálně kompletně vnořit. VR může pro tuto imerzi využívat nejen zrakových vjemů, ale i zvuků a v některých případech i hmatových podnětů.

## Extended Reality (XR)

Umbrella term that encompasses any sort of technology that alters reality by adding digital elements to the physical or real-world environment by any extent.



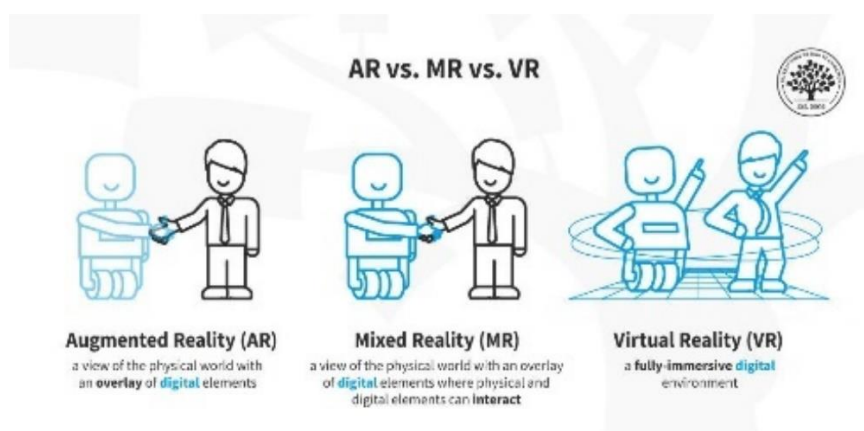
Obrázek 1-1 Zobrazení rozsahu a prolínání AR a VR [6]

V prostředí VR je možné zhmotnit jakýkoliv obraz, a to v rozsahu 360 stupňů kolem uživatele a ten s ním může libovolně interagovat. Výhodou a nevýhodou virtuální reality zároveň je právě ono vnoření do virtuálních světů, které mohou být a nemusí být inspirovány fyzickým světem. Výhodou se toto stává, pokud se zvolí zobrazení prostředí, které je běžně těžko dostupné, nebo hrozí možné nebezpečí při vstupu do něj. Příkladem pro takové situace můžou být třeba školení nových zaměstnanců pro práci v rizikovém prostředí. Naopak nevýhodou tato kompletní imerze, nebo i jenom fakt, že uživatel nemá během používání VR možnost vidět své okolí. Uživatelé se mohou během používání dostat do nebezpečných situací, pokud se nepohybují ve sterilním prostředí, bez skrytých nástrah. Pracovní prostředí moc často neumožňuje mít speciálně vyhrazený prostor bez nástrah pro využití VR, proto může být lepší využít AR řešení.



Obrázek 1-2 Pracovník využívající AR aplikace [7]

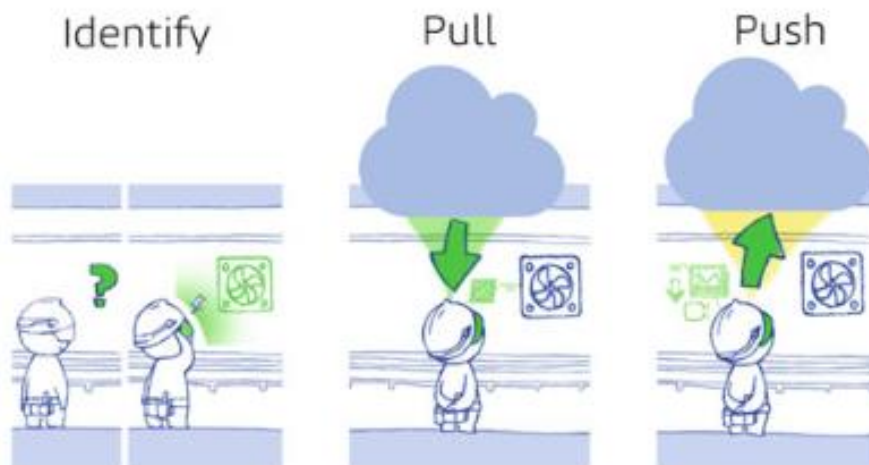
Rozšířená realita neumožňuje sice zobrazit jakékoliv prostředí, ale za to nám dovoluje přidávat prvky do našeho okolí. Digitální prvky vizualizované pomocí AR jsou většinou statické a nemůže docházet k interakci s uživatelem, ten na ně může pouze nahlížet. To však neznamená, že není možné AR aplikace ovládat, znamená to pouze, že s většina zobrazovaných inkluzí nebude reagovat na další osoby vyskytující se v zorném poli, nebo nebude možné zobrazované předměty uchopit. Pokud by byl vyžadován takovýto stupeň interaktivity bylo by lepší využít technologie smíšené reality (MR), která takovéto interakce umožňuje. [6]



Obrázek 1-3 Znázornění rozdílů ve stupních prolnutí realit [6]

Značnou výhodou AR je fakt, že uživatelům je umožněno vidět své okolí značně zvyšuje bezpečnost užití. Bezpečnost se dokonce zlepšuje natolik, že některé formy AR mohou být dokonce využity i v automobilech a při řízení. Dalším z možných využití, je poskytování dodatečných informací pracovníkům. Jedna společnost z Velké Británie vyvinula AR aplikaci, která byla schopná rozeznat komponent, z cloudu stáhnout potřebné informace a pracovníkům je poskytnout v reálném čase. [8]





Obrázek 1-4 Schéma funkcionality AR aplikace [9]

### 1.3 Navigace pomocí AR

Navigace pomocí rozšířené reality je jedním z možných využití AR. Pro orientaci v neznámém prostředí je zapotřebí získat informace, tradičně jsou tyto informace často získávány pomocí plánek nebo map. Pro přehlednost, ale není často možné poskytnout detailní informace a v případech větších budov či prostorů seznámení se s plánkem může zabrat velké množství času. Rozšířená realita a navigace její pomocí toto odstraňují, protože umožňují zobrazit relevantní informace v tu správnou chvíli. [10]



Obrázek 1-5 Znárodnění AR navigace v automobilu [11]

Navigace s použitím rozšířené reality může fungovat několika způsoby. Nejdůležitějším úkolem je zajistit zjišťování, co nejpřesnější polohy uživatele. Údaje o poloze mohou být zjišťovány pomocí majáků, markerů anebo senzorů. Některé z těchto způsobů budou nyní blíže představeny.

### 1.3.1 Majáky (Beacons)

Majāky jsou zařízení, která vysílají informace o poloze do zařízení v okolí. Fungují na principu detekce zařízení ve svém okolí a následně mohou vysílat informace pomocí bluetooth technologie.

Využití majáků závisí na schopnosti zařízení vypočítat svoji polohu na základě signálů z jednotlivých majáků. Díky využití majáků, není navigace závislá na vizuálním vstupu, a proto je možné ji využít i v neúplně ideálních vizuálních podmínkách. Jedná se o dobře známou technologii a její výstupy jsou dobře předvídatelné. Tato technologie je přesnější než využití GPS, ale je nutné vynaložit peněžní prostředky na pořízení a instalaci zařízení ve využívaných prostorech. Krom této finanční náročnosti má tato technologie i další nároky. Pro správné fungování musí být uchovávány údaje o poloze všech majáků, aby bylo vůbec možné vypočítat polohu uživatele. [12]



Obrázek 1-6 Bluetooth beacon [13]

Majāky hrají klíčovou roli při usnadňování vnitřní navigace tím, že poskytují přesné sledování polohy a optimalizaci trasy. Majáky přenášejí data o poloze do mobilních zařízení v blízkosti. Tato technologie umožňuje systému vypočítat vzdálenost mezi uživatelem a majáky, a tím určit přesnou polohu uživatele. Tím pomáhá identifikovat nejlepší trasy, které se vyhýbají překážkám, a zajišťují bezpečnou a efektivní navigaci. Majáky jsou strategicky umístěny po celém prostředí, což umožňuje triangulací určit polohu uživatele a vést ho budovou.



Obrázek 1-7 Ukázka tří různých typů majáků [14]

Integrace majáků s AR zlepšuje zážitek z navigace zobrazením směrových šipek a navádění na chytrém telefonu uživatele. Jak se uživatelé pohybují prostředím, majáky nepřetržitě vysílají svou polohu, což umožňuje systému poskytovat aktualizace a pokyny v reálném čase. Toto nastavení je výhodné zejména ve složitých vnitřních prostorech, jako jsou nemocnice a nákupní centra, kde jsou tradiční systémy GPS neúčinné. Systém založený na majáku je navržen tak, aby byl adaptabilní s ohledem na fyzické a kognitivní schopnosti uživatelů a lze jej ovládat pomocí dotykových i hlasových povelů, takže je přístupný širokému spektru uživatelů. [15]

### Marker – based navigace

Pro marker navigaci je typické využití markerů, které tomuto typu zjišťování polohy dává jméno. Markerem se při využití AR rozumí značka, kterou systém dokáže snadno a spolehlivě rozeznat. Podle této definice mohou mít markery různé podoby od jednodušších po složitější, pokud dodrží toto jednoduché pravidlo.

Marker může mít podobu jednoduchého geometrického tvaru jako je kruh, obdélník či čtverec. Použit se dají i trochu složitější obrazce, jako třeba soustředné polokruhy nedokončený čtverec, takovéto značky mohou být mírně složitější na rozeznání, ale právě ona nedokončená strana, nebo negativní prostor, může pomoci s orientací navigace. Použití nesymetrických markerů zvyšuje přesnost určování polohy, protože je pro aplikaci snazší posoudit polohu.

Z tohoto důvodu je také výhodné použití QR kódů. QR kódy jsou sice trochu složitější, ale o to sofistikovanější verzi. Funkce a použití QR kódů byla řádně prozkoumána a je hojně využívána. Další výhodou, již z principu fungování QR kódu danou, je asymetričnost grafického prvku. S využitím těchto kódů přichází bohužel i problém. Pokud by se v pracovním prostředí vyskytovalo příliš mnoho kódů a značek, mohly by sestát rušivým elementem.

Pro zjištění pozice zařízení v aplikacích AR je možné využít augmentace pomocí metod založených na načtení markeru. Takové určování polohy je přesnější, protože je poloha přímo počítána z prvků extrahovaných z obrázků, které mají být rozšířeny. Sledování založené na vidění pomocí základních umělých značek scény bylo obzvláště velmi úspěšné. [16]

Další možností pro markery v navigacích je RFID technologie. Pomocí této technologie, je možné markery udělat téměř neviditelné. Technologie RFID není nová; používá se od 80. let

20. století. Pokroky ve snižování nákladů a velikosti RFID štítků a jejich energetických požadavků výrazně snížily náklady na RFID štítky, což vedlo k jejich širokému přijetí v různých odvětvích, včetně logistiky, dopravy, maloobchodu, zdravotnictví, cestovního ruchu a bezpečnosti.

Tato technologie oplývá významnými výhodami a je využívána zejména v logistice a dopravě, ale s potenciálními aplikacemi v různých ekonomických sektorech. Jeho primární funkcí je umožnit snadnou, bezkontaktní a jednoznačnou identifikaci předmětů včetně zboží a živých bytostí. Toho je dosaženo načtením pomocí RFID skeneru (nebo čtečky) na dálku číst ID kód a další data z pasivního nebo aktivního RFID štítku. Informace na těchto štítcích se obvykle zapisují pomocí zapisovače RFID (nebo tiskárny). Technologie využívá jako nosnou frekvenci vícefrekvenční rádiový signál. Schopnost RFID identifikovat více objektů současně bez kontaktu zvyšuje efektivitu zpracování informací. RFID štítky jsou navíc prepisovatelné a mohou uložit více informací než čárové kódy. Nevyžadují přímý vizuální kontakt se skenerem, což znamená, že štítky nemusí být orientovány specifickým způsobem.

Mezi hlavní výzvy při zavádění technologie RFID patří výběr vhodné frekvenční šířky pásma, přenosového protokolu, formátu dat a množství informací uložených na štítku RFID. Tato rozhodnutí komplikují nejasné normy. Zabezpečení je další problém kvůli bezkontaktní povaze technologie RFID.

System RFID se skládá z pěti hlavních součástí:

- Tag (transpondér, štítek, respondér)
- Skener (čtečka)
- Anténa (interní nebo externí, také známá jako brána)
- Writer (zapisovač)
- Software pro kontrolu a údržbu. [17]

### 1.3.2 Markerless Navigace

Markerless navigace se naopak od Marker based liší svým využitím různých senzorů dostupných v zařízení a zjištění polohy vyhodnocením takto získaných dat. Nejvíce využívanou částí zobrazovacího zařízení je pak kamera, která snímá scénu. Většina aplikací věnuje svoji pozornost mapování reálné scény a přírodních struktur. Díky tomu nemají problém s přehlcením prostoru narušujícími marker štítky. Bohužel markerless metody jsou jen velice málo spolehlivé ve srovnání s marker based metodami. Marker less metoda se dá nejlépe využít v prostorech, které jsou stálé a jejich podoba se nemění. Důležité je aby v takových prostorech byl zároveň dostatek těchto neměnných struktur, aby se měla navigace čeho zachytit. Pokud těchto orientačních struktur nebude dostatek výkonost značně klesá a s tím i přesnost. V okamžiku, kdy by na scéně identifikační struktury zcela chyběly, stalo by se že takováto navigace úplně přestane fungovat. [16]

Zjednodušeně by se markerless navigace dala přirovnat k tomu, jak se orientují lidé pokud se ocitnou v prostředí, kde se mohou orientovat jen zrakem a cestu hledají tzv. „po paměti“. Markerless navigace to má stejně, hledá pro ni význačné body, které může rozpoznat a zorientovat se podle nich v prostoru, čímž následně umožní zorientovat se i nám.

Použití VPS v interiéru je však náročné. Vyžaduje vytváření datových sad a trénování modelů umělé inteligence k rozpoznání vnitřního prostředí. Změny prostředí, jako je přestavba nebo stěhování nábytku, mohou představovat potíže.

VPS dokáže přesně určit vnitřní pozice z jednoho snímku, ale to vyžaduje důkladný sběr dat, rekonstrukci a trénink modelu. Zde je podrobný pohled na každý krok:

### **Krok 1: Vytvořte sadu obrázků s různými trasami v interiéru**

Natáčení by mělo pokrývat všechny oblasti a mít potenciální body zájmu pro detekci VPS. Více videí by mělo být pořízeno za různých světelných podmínek (např. ve dne a večer). Před natáčením videa odstraňte všechny překážky, včetně lidí a dočasných předmětů.

### **Krok 2: Vytvořte trojrozměrnou rekonstrukci vnitřního umístění**

Zde se hodí řídká rekonstrukce, neboli mračno bodů. Pomocí videosouborů toho lze dosáhnout pomocí stereofonních přístupů struktury z pohybu a multi-view. Obrázek níže ilustruje mračno bodů rekonstruované ze statických snímků vystřižených z videí s červenými komolými útvary označujícími polohu kamery pro každý snímek. Nedostatečná nebo nekvalitní videa mohou mít za následek neúspěšné rekonstrukce nevhodné pro další zpracování.

### **Krok 3: Určete vizuální orientační body**

Pro přesné umístění v interiéru potřebujeme identifikovat vizuální orientační body, které budou sloužit jako reference pro předpovědi VPS. Orientační body by měly být viditelné za různých světelných podmínek a měly by být trvale přítomné na mnoha tréninkových snímcích. Níže uvedené obrázky ukazují příklady vizuálních orientačních bodů pro trénování modelů.

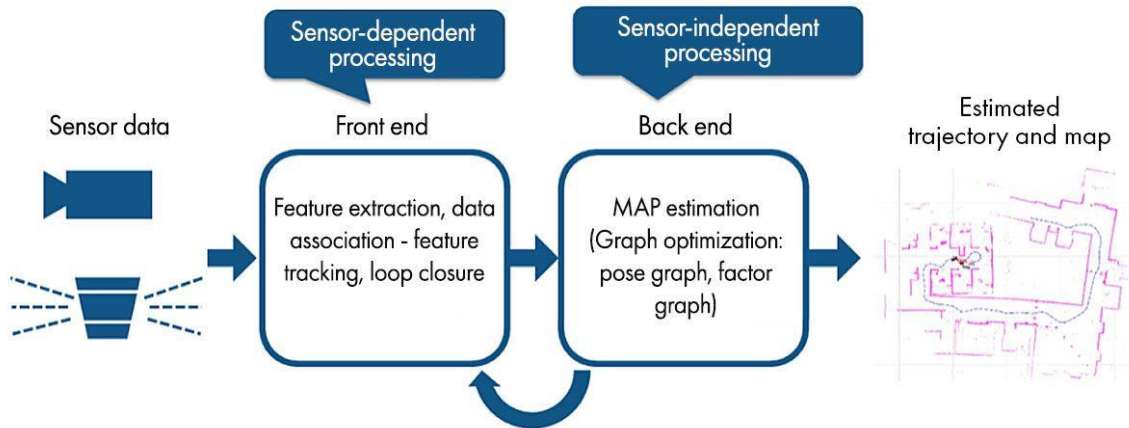
### **Krok 4: Trénujte model**

Mračno bodů a vizuální orientační body slouží jako trénovací data pro model VPS. Obvykle je každý model vyškolen pro každou konkrétní místnost. Trénovaný model VPS pořizuje snímek libovolného prostoru ve scéně a pokouší se detekovat odpovídající orientační body, přičemž předpovídá polohu a orientaci kamery ve scéně.

Vezměme si například obrázek, který není součástí trénovací datové sady. Pozice kamery předpovídaná VPS je označena zeleným komolým kuzelem. Další příklad ukazuje opačnou část místnosti, přičemž polohu kamery opět předpovídá VPS. Přesnost předpokládané polohy se může lišit v důsledku překážek (objektů, lidí) ve vstupním obrázku. [12]

## **1.3.3 SLAM**

SLAM jinak také Simultaneous Localization and Mapping, je technologie, která zajišťuje možnost současnou lokalizaci a mapování jak již název napovídá. Na dosažení funkčnosti SLAM se podílejí dvě hlavní technologické složky. První složkou je zpracování signálu senzoru, které zahrnuje front-end zpracování a je silně závislé na typu použitých senzorů. Druhou složkou je optimalizace pozičního grafu, která zahrnuje back-endové zpracování a je nezávislá na konkrétních použitých senzorech. Dále se metoda používá pro autonomní vozidla, která vám umožňují sestavit mapu a zároveň na ní lokalizovat vaše vozidlo. Algoritmy SLAM umožňují vozidlu mapovat neznámá prostředí. Inženýři využívají mapové informace k provádění úkolů, jako je plánování cesty a vyhýbání se překážkám.



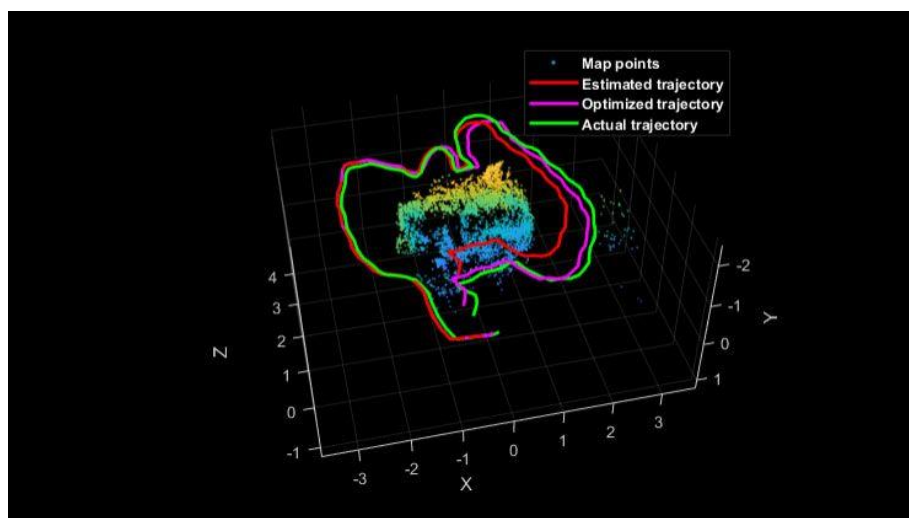
Obrázek 1-8 Schéma funkcionality SLAM [18]

## Visual SLAM

Visual SLAM nebo vSLAM se spoléhá na snímky zachycené kamerami a jinými zobrazovacími senzory. Může používat různé typy kamer, včetně jednoduchých kamer (širokoúhlé, rybí oko a sférické), složených kamer (stereo a multikamery) a RGB-D kamer.

Implementace vizuálního SLAM může být nákladově efektivní s cenově dostupnými kamerami. Tyto kamery poskytují rozsáhlé informace a umožňují detekci orientačních bodů (dříve zaměřených pozic). Detekci orientačních bodů lze integrovat s optimalizací založenou na grafech, což nabízí flexibilitu při implementaci SLAM. [18]

Monokulární SLAM, varianta vSLAM, používá jedinou kameru jako jediný snímač, což představuje problém při definování hloubky. Tento problém lze vyřešit detekcí AR markerů, šachovnic nebo jiných známých objektů v obraze pro lokalizaci nebo kombinací dat z kamery s jiným senzorem, jako jsou inerciální měřicí jednotky (IMU), které měří fyzikální veličiny, jako je rychlost a orientace. Technologie související s vSLAM zahrnují strukturu z pohybu a vizuální odometrii, což je uchovávání a vyhodnocování dat z ó pohybu na základě, kterých je možné vypočítat změnu v poloze za čas. [18]

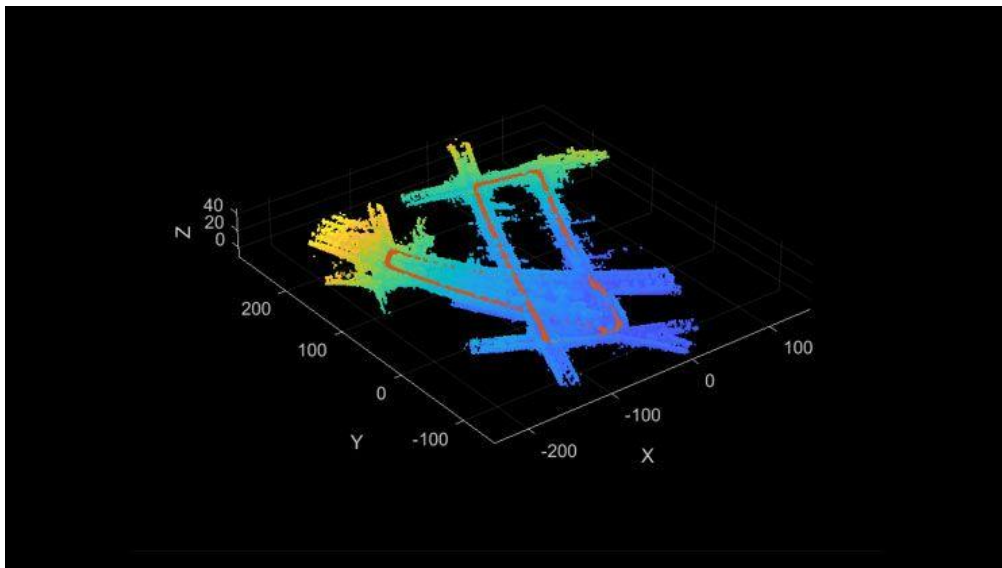


Obrázek 1-9 Zobrazení snímání pomocí Visual SLAM [18]

## LiDAR SLAM

Detekce a měření vzdálenosti (lidar) je technika, která primárně využívá laserový senzor nebo senzor vzdálenosti. Lasery jsou mnohem přesnější než kamery, senzory času letu (ToF) a další senzory, díky čemuž jsou ideální pro vysokorychlostní aplikace, jako jsou autonomní auta bez řidiče a drony. Laserové senzory obvykle produkují 2D (x, y) nebo 3D (x, y, z) data mračna bodů a nabízejí vysoce přesná měření vzdáleností nezbytná pro konstrukci map pomocí algoritmů SLAM. Pohyb se odhaduje postupnou registrací mračna bodů, přičemž vypočítaný pohyb (ujetá vzdálenost) se používá k lokalizaci vozidla. Registrační algoritmy jako iterativní nejbližší bod a transformace normálního rozdělení mohou odhadnout relativní transformaci mezi mračny bodů. Alternativně lze použít přístupy založené na funkcích, jako je Lidar Odometrie and Mapping (LOAM) nebo Fast Global Registration (FGR), které využívají funkce FPFH. Mapy mračna bodů mohou být reprezentovány jako mřížkové mapy nebo voxelové mapy.

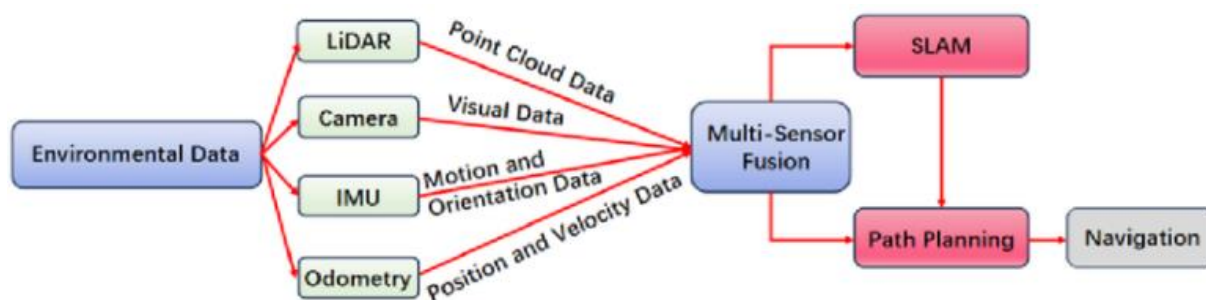
Kvůli různým problémům lokalizace pro autonomní vozidla často zahrnuje integraci dalších měření, jako je odometrie kol, globální navigační satelitní systém a data IMU. U skladových robotů se běžně používá 2D lidar SLAM, zatímco 3D mračno bodů SLAM se obvykle používá pro UAV a automatizované řízení. [18]



Obrázek 1-10 Zobrazení snímaných bodů pomocí LiDAR SLAM [18]

## Motion sensor SLAM

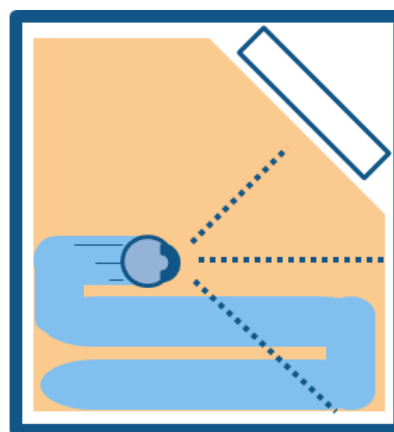
Multi-Sensor SLAM je pokročilý algoritmus SLAM, který využívá různé senzory, jako jsou kamery, IMU, GPS, lidar a radar ke zvýšení přesnosti a robustnosti systémů SLAM. Kombinací vzájemně se doplňujících silných stránek různých senzorů tento přístup zmírňuje jejich jednotlivé slabé stránky a dosahuje vynikajícího výkonu. Například, zatímco kamery poskytují podrobné vizuální informace, mohou mít problémy při slabém osvětlení nebo při vysoké rychlosti; lidar, naopak, funguje spolehlivě v různých světelných situacích, ale může mít problémy s určitými povrchy. Díky integraci dat z více senzorů nabízí multisenzorový SLAM spolehlivější řešení než systémy s jedním senzorem. Flexibilním rámcem pro integraci různých dat ze senzorů je faktorový graf, který dokáže pojmout vstupy z kamer, IMU, GPS a vlastních senzorů, jako je lidar a odometrie, což umožňuje konfigurace jako Monocular Visual-Inertial SLAM a Lidar-IMU SLAM. [18]



Obrázek 1-11 Schéma funkcionality Motion sensor SLAM [19]



Without SLAM:  
Cleaning a room randomly.



With SLAM:  
Cleaning while understanding the room's layout.

Obrázek 1-12 Porovnání navádění bez a pomocí SLAM [18]

Navzdory svým výhodám čelí algoritmy SLAM technickým výzvám, které brání jejich širšímu přijetí. Jedním z významných problémů je hromadění lokalizačních chyb v průběhu času, což vede k podstatným odchylkám od skutečných hodnot a potenciálnímu zkreslení mapových dat. K tomuto problému, známému jako problém uzavření smyčky, dochází, když chyby způsobí nesprávné zarovnání počátečního a koncového bodu robota, což komplikuje následnou navigaci. Přesná kalibrace senzoru je u multisenzorových SLAM klíčová, aby se zabránilo nepřesnostem při fúzi. Optimalizace faktorového grafu může pomoci při kalibraci senzoru, zejména při vyrovnávání systémů kamera-IMU. Jednou ze strategií řešení těchto chyb je použití dříve navštívených orientačních bodů, aby se minimalizovala chyba lokalizace. Sestavení grafů pozic a řešení minimalizace chyb jako optimalizačního problému, proces známý jako bundle adjustace ve vizuálním SLAM, může generovat přesnější mapová data. [18]



## 2 Vybavení potřebné pro rozšířenou realitu

Pro rozšířenou realitu není zapotřebí moc věcí, ale na trhu je dostupných mnoho druhů zobrazovacích zařízení. Mezi ty nejdostupnější, a i nejméně finančně zatěžující pro rozpočet se v poslední době řadí chytré telefony a tablety. Naopak cenově náročnější chytré brýle a headsety zažívají inovační boom a těší se zájmu široké veřejnosti.

Předtím je ale zapotřebí aplikaci vytvořit softwarové platformy a nástrojové sady potřebné pro tvorbu AR aplikací budou zmíněny v následující podkapitole.

### 2.1 Hardwarové komponenty

Aby bylo možné sledovat a využívat digitálních prvků AR musí nejprve být k dispozici nějaké zobrazovací zařízení. Zobrazovacích zařízení je několik typů, jak již bylo výše zmíněno. Mezi taková zařízení patří chytré telefony, tablety a speciální brýle nebo náhlavní soupravy pro AR. Chytré telefony a tablety využívají své vestavěné displeje k zobrazení digitálních informací na reálném prostředí, které zachycuje kamera zařízení. Speciální brýle a náhlavní soupravy pro AR, jako je například Microsoft HoloLens, používají optické průhledové nebo video průhledové displeje k propojení virtuálních prvků s fyzickým světem, který uživatel vidí. [20]

#### Mobilní rozšířená realita

Označením mobilní rozšířená realita je myšlen typ zařízení, na který se nainstaluje navigační aplikace. Na tomto místě by bylo lepší anglické označení Hand Held Devices, nebo také zkráceně HHD, což v překladu znamená v ruce držaná zařízení.

Mobilní zařízení, jako jsou chytré telefony a tablety, jsou běžně využívána pro zážitky s rozšířenou realitou. Díky vestavěným kamerám, sensorům a dostatečnému výpočetnímu výkonu dokážou tato zařízení zaznamenávat okolí uživatele, sledovat jeho polohu a orientaci a zobrazovat virtuální obsah na displeji. Ve srovnání s náhlavními soupravami nabízejí mobilní AR řešení přenosnější a dostupnější zážitky. [21]

#### Chytré brýle a brýle pro rozšířenou realitu

Na trhu se pomalu objevuje více a více variant chytrých brýlí. Mezi několik firem, které pracují nebo dokonce již přináší toto zařízení patří Microsoft, Google, ale třeba i méně známý XREAL. Chytré brýle většinou využívají malých vestavěných displejů, nebo projekční technologie.

Brýle společnosti XREAL váží pouhých 72 gramů, což je činí velmi lehkými. Vykompenzováno to je chybějící baterií, takže Brýle spoléhají na napájení z připojeného zařízení, nejčastěji mobilního telefonu. Brýle jsou lehké a snadno se skladují. XREAL Air 2 navíc poskytuje pohodlný a pohlcující zážitek z konzumace médií, což z něj dělá slibnou možnost ve světě brýlí pro AR. [27]



Obrázek 2-1 Chytré brýle od společnosti XREAL [27]

### Náhlavní soupravy pro rozšířenou realitu

Apple Vision Pro se primárně zaměřuje na zážitky se smíšenou realitou, které mísí digitální obsah s fyzickým světem, spíše než na skutečné interakce s rozšířenou realitou (AR). Některé klíčové body o používání Vision Pro pro AR:

Vision Pro má „nekonečné plátno“, které vám umožňuje uspořádat aplikace kdekoli a přizpůsobit je velikosti, čímž vytvoříte přizpůsobitelný pracovní prostor. Tyto aplikace se však vznášejí nezávisle na fyzickém prostředí.

Existuje jen několik příkladů skutečných funkcí AR, jako je tlačítko „připojit displej“, které se zobrazí nad vaším Macem a zahájí sdílení obrazovky, a okno s náhledem textu, které ukazuje, co píšete na klávesnici Bluetooth.

Většina zážitků Vision Pro se smíšenou realitou zahrnuje virtuální objekty vznášející se v prostoru bez spojení s objekty reálného světa. Apple se vyhnul marketingu jako headset pro virtuální realitu.

Vision Pro září spíše jako VR headset pro zábavu, jako je sledování filmů v pohlcujících virtuálních prostředích. Filmy a obsah vypadají skvěle na vysoce kvalitních displejích Vision Pro.

Stručně řečeno, zatímco Vision Pro umožňuje zážitky se smíšenou realitou, v současné době postrádá robustní možnosti AR a interakce s objekty v reálném světě, které by někteří mohli očekávat. Platforma je stále v rané fázi a může se časem vyvinout, aby zahrnovala pokročilejší funkce AR. [28]



**Obrázek 2-2 Apple vision pro od společnosti Apple [28]**

## 3 Analýza současných řešení AR navigace

### 3.1 IndoAR od ViewAR

ViewAR nabízí řešení rozšířené reality a virtuální reality pro vnitřní navigaci a navádění, Průmysl 4.0 a IoT, vzdálenou asistenci a vizualizaci produktů. Jejich vnitřní navigační systém AR s názvem INDOAR poskytuje navigaci s průvodcem a podrobnosti o přesné poloze uživatele. INDOAR lze použít v různých prostředích, jako jsou univerzity, letiště, nákupní centra, továrny, kancelářské budovy, muzea a nemocnice, aby se zlepšilo hledání cesty a vytvořil se pro návštěvníky mimořádný zážitek. [22]

Některé klíčové funkce vnitřní navigace ViewAR zahrnují:

- Schopnost provádět návštěvníky po předem definovaných trasách nebo cestách pomocí jejich vlastního mobilního zařízení
- Přizpůsobitelné prohlídky vytvořené správcem nebo uživatelem
- Interakce s 3D objekty a dalším obsahem, jako jsou videa, text a zvuk
- Vylepšené určování polohy v interiéru s dalšími funkcemi, jako jsou pracovní postupy, vzdálená pomoc a digitální obsah

Vnitřní navigační řešení ViewAR AR jsou poháněna systémem Tracking Fusion System, který kombinuje více 2D vstupů s nízkou přesností, aby se výrazně zvýšila celková přesnost sledování. Systém je kompatibilní s různými technologiemi včetně vizuálního rozpoznávání, systému Apple Indoor Positioning System, GPS, Bluetooth majáků a QR kódů. [22]

ViewAR poskytuje komplexní vnitřní navigační platformy spojené s rozšířenou realitou, které organizacím umožňují zlepšit zážitky návštěvníků, optimalizovat provoz a zvýšit produktivitu v celé řadě průmyslových odvětví.

Přístup ViewAR k vnitřní navigaci AR integruje vizuální rozpoznávání a techniky rozšířené reality pro výpočet pozic návštěvníků a jejich navádění k jejich cílům. Tato metoda zahrnuje několik klíčových kroků. Nejprve se vnitřní prostor naskenuje pomocí 3D skeneru, jako je Matterport Pro3D Scanner, který byl použit k zmapování celé podlahové plochy 22 000 m<sup>2</sup> Technického muzea Vídeň za pouhých pět dní. Tato podrobná mapa je pro navigaci klíčová. Dále systém určování polohy založený na vidění využívá kameru na mobilních zařízeních návštěvníků k určení jejich polohy. Návštěvníci zahájí navigaci natáčením svého okolí, což umožňuje systému, aby je navedl k bodům zájmu (POI) nebo po předem definovaných trasách s překryvnými vrstvami rozšířené reality na pohled kamery.

Návštěvníci si mohou vybrat konkrétní POI nebo výstavy, které chtějí navštívit, a získat podrobné pokyny k těmto místům. Další obsah, jako jsou videa, obrázky, text a zvuk o POI a výstavách, se zobrazuje pomocí AR. Systém také nabízí přizpůsobitelné prohlídky, které mohou vytvářet správci muzea nebo sami návštěvníci. Kromě toho je určování polohy uvnitř vylepšeno funkcemi, jako jsou pracovní postupy AR, vzdálená pomoc a digitální obsah. Přístup ViewAR si klade za cíl poskytnout návštěvníkům pohlcující, informativní a zábavný zážitek tím, že kombinuje 3D skenování, vizuální určování polohy a navigaci v rozšířené realitě, což umožňuje muzeím a dalším místům poskytovat svým hostům pokročilé vyhledávání cest a poskytování obsahu. [22]

### 3.2 Head-up displej Volkswagen

Head-up displej Volkswagen s rozšířenou realitou spojuje virtuální a skutečný svět tím, že vybrané symboly překrývá s okolním světem a dynamicky je zobrazuje na čelním skle. Systém je rozdělen do dvou oblastí a úrovní:

Velké okno pro dynamické displeje se nachází v zorném poli řidiče ve virtuální vzdálenosti přibližně 10 metrů. Zobrazuje informace z asistenčních systémů, směrové šipky a cíle navigačního systému.

Okno na blízko je plochý pás pod velkým oknem. Zobrazuje rychlost jízdy, dopravní značky a asistenční a navigační symboly jako statické displeje, které vypadají, jako by se vznášely asi tři metry před řidičem.

Systém přijímá informace z přední kamery, radarového senzoru a navigační mapy pro výpočet polohy symbolů odpovídajících okolí. Displeje jsou stabilizované s ohledem na pohyby vozidla a přizpůsobené geometrii optického projekčního systému.

Volkswagen je prvním výrobcem automobilů, který zavedl tuto technologii v kompaktním segmentu, díky čemuž je dostupná pro mnoho zákazníků. Nejprve bude představen v plně elektrických modelech ID.3 a ID.4 [11]



Obrázek 3-1 Volkswagen AR navigace [11]

### 3.3 Studie ZČU

Pod záštitou Západočeské univerzity proběhlo několik studií a bylo vypracováno několik kvalifikačních prací zabývajících se podobným tématem. Během přípravy praktické části této kvalifikační práce byly tyto materiály pečlivě prostudovány. Následně byla vybrána jedna zajímavá studie, na kterou tato práce navazuje a má za cíl rozšířit poznatky v této problematice.

Na začátku roku 2024 byla na půdě Západočeské univerzity provedeno měření, které se zabývalo navigací ve vnitřních prostorech. Jednalo se o studii srovnávající konvenční metody navigace a navigaci pomocí AR aplikace. Cílem této studie bylo porovnat uživatelskou přívětivost jednotlivých metod. Metody navigace, které byly použity v této studii byla AR aplikace spuštěná na mobilním telefonu, 2D mapa s vizuálními prvky a takzvaná varianta „BLIND“, kdy uživatelé neměli k dispozici žádné orientační pomůcky. Každý z probandů v této studii absolvoval měření s určitým typem navigace. Probandi tak neabsolvovali stejnou či obdobnou trasu vícekrát, ale zkušenosti s orientací v cizím prostředí získané během měření měli jen s jednou z metod navigace.

Primárním účelem AR aplikace pro variantu ARNAV bylo umožnit uživateli snadnou navigaci pomocí rozšířené reality. Aplikace zobrazovala virtuální navigační čáry vedoucí k bodům zájmu a obsahovala simulaci procesů nakládky a vykládky objektů, které byly vizualizovány formou seznamu úkolů. Aplikace byla optimalizována pro specifické platformy a prostředí.

Výsledky ukázaly, že statistická analýza odhalila významné rozdíly mezi variantami ARNAV a 2DMAP v některých otázkách SUS dotazníku. Probandi pocítovali potřebu přítomnosti technické podpory a také soudili, že množství nově přijímaných informací bylo větší než by si přáli. Varianta 2DMAP dosáhla nejvyššího mediánu skóre SUS (90), což značí nejvyšší uživatelskou přijatelnost. Varianta ARNAV dosáhla skóre 82,5 stejně jako varianta BLIND. Celkově však nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly v mediánech SUS skóre mezi variantami.

Závěr studie poukazuje na to, že integrace vnější a vnitřní navigace je klíčová pro efektivní řešení výzev navigace v komplexních prostředích. Studie také identifikovala potřebu dalšího výzkumu zaměřeného na využití AR v komplexních prostředích a při řešení složitých úkolů.

Mobilní navigace s tradičními mapami a zdůrazňuje význam zkušeností s AR a potenciál AR při zlepšování navigačních procesů. [23]

## 4 Návrh řešení

Hlavní motivací pro toto měření bylo rozšíření záběru měření oproti původní studii. Dále bylo cílem ověření spolehlivosti a porovnání výsledků jednotlivých metod navigace mezi sebou, které u předchozí studie chyběly.

Jelikož hlavním důvodem měření je testování aplikace pro rozšířenou realitu (AR) nejdříve bude tato aplikace, její úpravy a funkcionalita představena v následující podkapitole.

Následně bude uveden teoretický podklad pro měření, které samotné bude představené v podkapitole následující seznámení s metodikou. V teoretickém podkladu pro měření budou také uvedeny další zaznamenávané hodnoty, které by nebylo možné získat pomocí dotazníků.

Po teoretické přípravě k měření bude zmíněn průběh samotného měření. Zde budou uvedeny i případné problémy vyvstalé při měření a seznámeno bude i s limitacemi měření. Mezi nejdůležitější cíle měření patří sběr dat pro vyhodnocení několika předem určených premis. K vyhodnocení budou použity dotazníky a data jimi získaná. Bude především vyhodnocována přívětivost aplikace a její obsluhy k uživateli, to bude zajištěno pomocí stupnice použitelnosti systému. Následně bude hodnocena pocítovaná zátěž uživatele pomocí dotazníku NASA TLX. Jako poslední bude zmíněna rychlost splnění a porovnána mezi jednotlivými variantami.

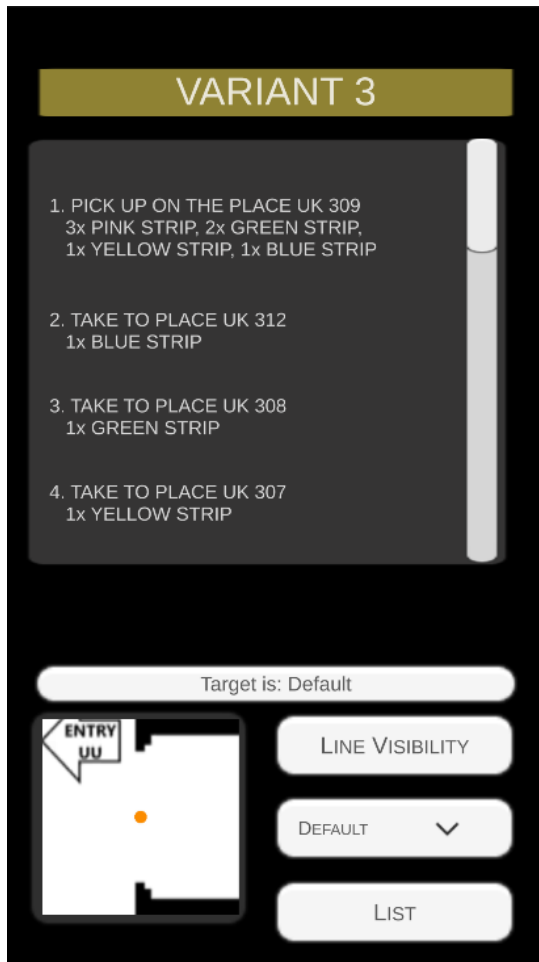
### 4.1 Aplikace

K vytvoření a úpravám aplikace bylo využito Unity a jeho standardizovaných knihoven, zejména pak ARCore a ARFoundation, které jsou přímo určené k vývoji AR aplikací pro Android zařízení. Primárním účelem aplikace je umožnit snadnou navigaci pomocí AR, což v tomto případě zahrnuje zobrazení virtuálních navigačních čar vedoucích k jednotlivým bodům zájmu. Systém obsahuje simulaci procesů nakládání a vykládání objektů, a tyto procesy jsou zobrazeny ve formě seznamu úkolů, který vizualizuje sekvenční kroky.

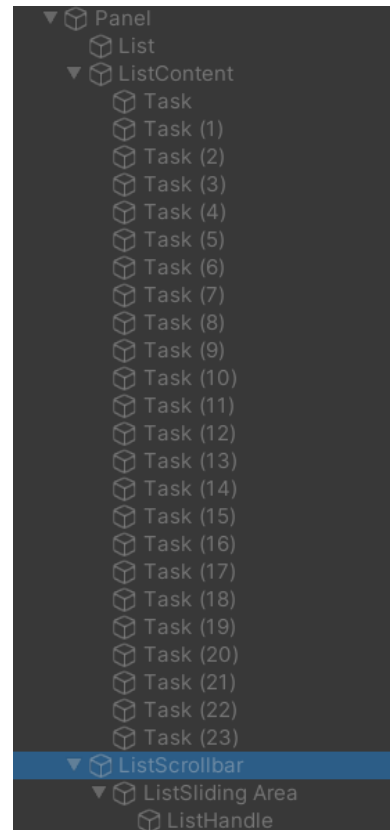
Aplikace má celkem jednoduché uživatelské prostředí, ale původní vzhled byl pro jednoduchý proces zahrnující maximálně pár kroků. Rozšíření a úpravy pro umožnění zadávání i komplexnějších procesů budou popsány následovně vždy ve sledu pozorovatelná změna v uživatelském prostředí (UI) a následně provedené změny v prostředí Unity.

Hlavní změnou bylo umožnění zadávání libovolného počtu úkolů a vzhledem k limitovanému prostoru na obrazovce mobilního telefonu bylo přistoupeno k posuvnému seznamu úkolů. Tento seznam úkolů je možné posunout za pomoci posuvníku, ale i pouhým pohybem prstu po obrazovce. Seznam úkolů je ložné vyvolat tlačítkem „LIST“ a tím samým tlačítkem jej zase skrýt. Níže na obrázcích č. 1 a 2 můžeme vidět list i s posuvníkem a zároveň výřez z prostředí Unity, kde „Panel“ je oblast seznamu úkolů a jako „Task“ vidíme jednotlivé kroky procesu.

Dále bylo nutné přidat další body zájmu do sbalovacího menu. Pro přidání bodů zájmu bylo nejdříve nutné je vytvořit jako prázdné objekty a ty ukotvit v prostředí tak, aby odpovídaly daným bodům zájmu. Všechny body zájmu pak bylo nutné propojit s indikátory, aby bylo možné i navádění k nim pomocí navigační linie. Toto je možné vidět na obrázcích č. 3 – 6.

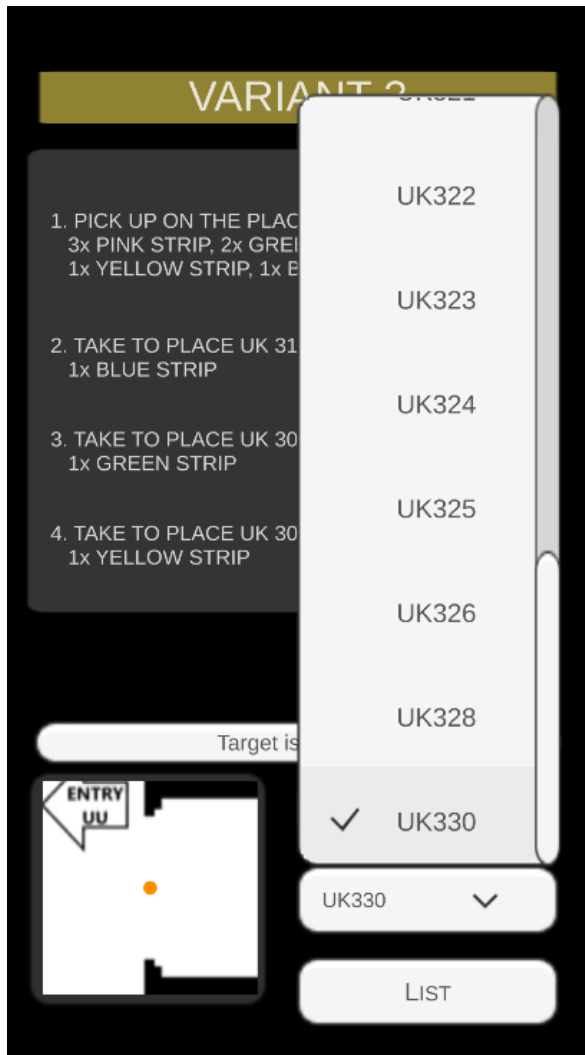


Obrázek: Seznam kroků procesu

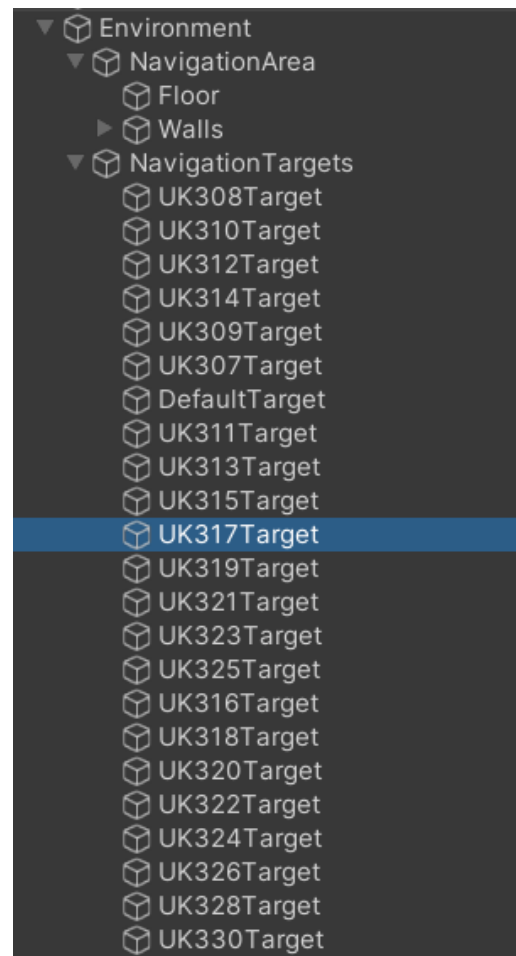


Obrázek 4-1: Zobrazení panelu se seznamem kroků

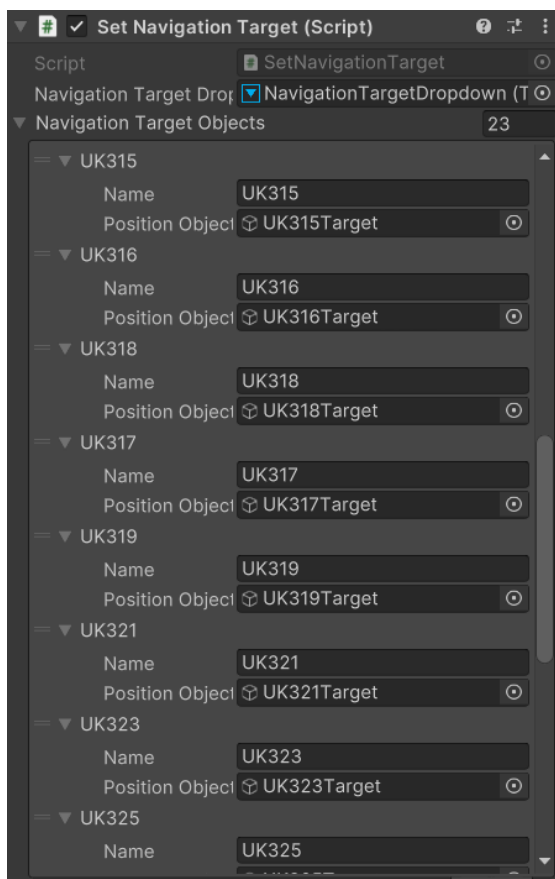




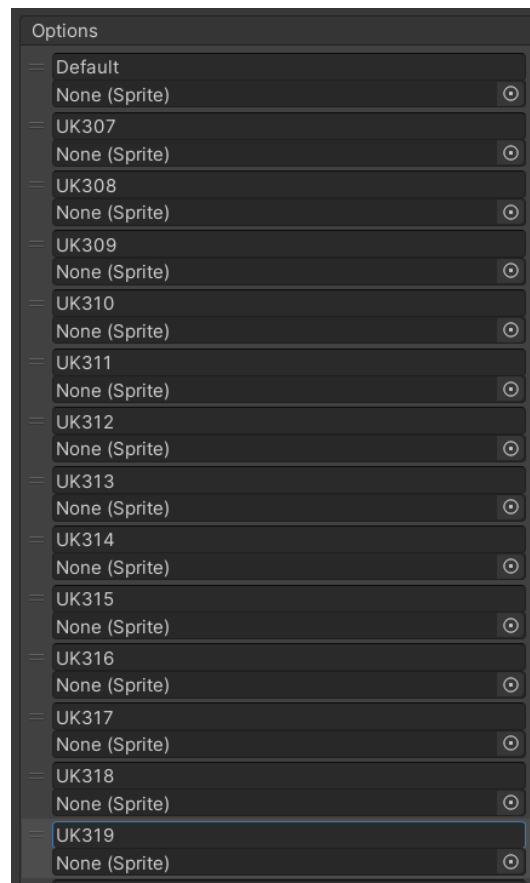
Obrázek 4-2: Rozbalovací menu s posuvníkem



Obrázek 4-3: Vytvořené body zájmu



Obrázek 4-4: Propojení bodů s navigačními linií



Obrázek 4-5: Vložení bodů zájmu do rozbalovacího menu

## 4.2 Metodika měření

V daném měření se bude porovnávat použití několika systémů navigace. Prvním je navigace pouze pomocí textových instrukcí, kdy se subjekt musí v prostředí zorientovat sám. Dále bude využito vizuální pomůcky (mapy), kde je znázorněna trasa i úkoly. V neposlední řadě bude hodnoceno použití navigace s využitím rozšířené reality. Pro porovnání náročnosti bude měření provedeno ve dvou stupních komplexnosti.

Během měření byly využity následující způsoby navigace:

Navigace pomocí textových instrukcí: Probandi budou navigováni pouze na základě psaných verbálních instrukcí bez vizuálních pomůcek.

Kombinace textových instrukcí a 2D mapy: Probandi obdrží textové instrukce spolu s 2D mapou, na které jsou znázorněny trasy a úkoly.

Navigace s využitím rozšířené reality: Probandi budou využívat technologii rozšířené reality pro navigaci prostředím.

Trasy i úkoly byly shodné pro všechny varianty navigace, pro snazší a objektivnější porovnání mezi sebou. Pro všechny způsoby byly dvě varianty komplexnosti se čtrnácti a čtyřicetými úkoly, podle kterých měl proband postupovat. Oproti předchozí studii bylo přidáno množství úkolů u obou variant a také bylo přidáno více bodů, kde proband vyzvedával simulované komponenty (proužky). Na těchto místech mohl i nemusel zároveň umísťovat proužky. Dále přibýly i body, kde proband musel umístit dva proužky namísto jednoho.

Předchozí studie byla provedena v omezeném rozsahu a pouze v krátké vzdálenosti. Při měření také probandi mohli vidět štítky z předchozích fází měření, zbylé po předchozích probandech. V předchozí studii probandi prošli trasu vždy pouze jednou s daným typem navigace.

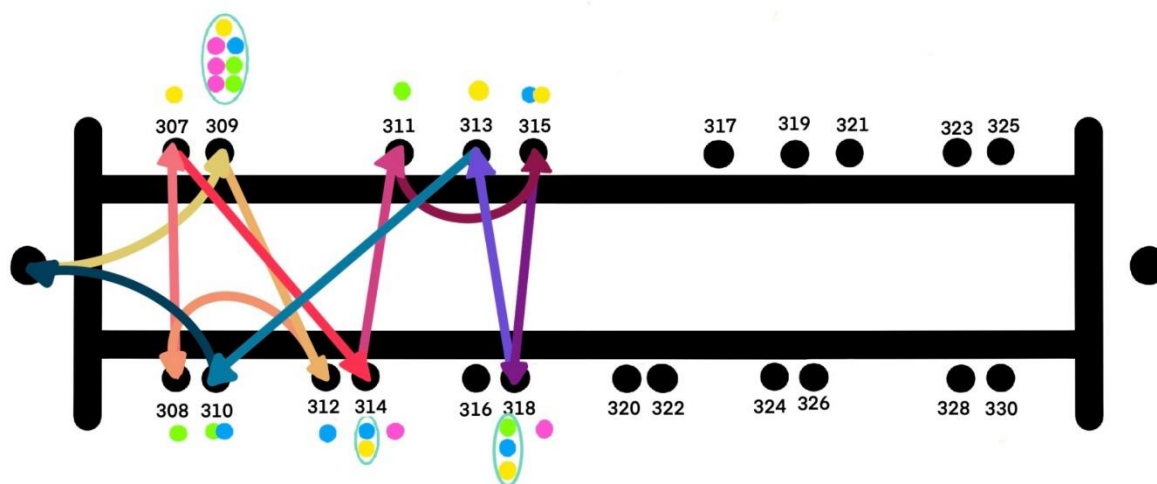
Pro získání dat k srovnání měření byla krátká trasa vedena obdobným způsobem. Je ale důležité zmínit, že v předchozí studii byly získány výsledky, aniž by si proband mohl zkusit jiný způsob navigace v daném prostředí.

#### 4.2.1 Rozdělení variant měření

Jak bylo již dříve zmíněno pro měření byly vybrány tři druhy navigace se dvěma stupni obtížnosti, tím jejich kombinací vzniká 6 typů měření. Druhy navigace byly převzaty z dříve provedené studie, kdy probandi postupovali dle slovních instrukcí, vizuálního znázornění prostředí a v neposlední řadě úkoly plnili s pomocí AR navigace a jejích komponentů, které spojovaly oba předchozí druhy navigace.

Varianta s textovým zadáním obsahovala čtrnáct, respektive dvacet čtyři bodů s úkoly. V zadání obsahovalo pouze popis úkolů, bez jakýchkoliv orientačních nápověd. Úkoly byly popsány stručným a jednoduchým jazykem s jednoznačným významem, kdy byly použity hlavní tři instrukce PICK UP – vyzvedni, TAKE TO (place) – vezmi na (místo), STAY AT (place) – zůstaň na (místě). Ostatní instrukce se týkaly typu a počtu štítků. Obě varianty byly uskupeny tak aby se všechny instrukce vešly přehledně na jednu stranu A4. Jednotlivé úkoly byly očíslované.

Navigace s vizuální pomůckou měla stejný počet úkolů i postup. Na mapě byl znázorněn prostor, kde měření probíhalo se všemi POI, a i ostatními orientačním body. Jejich umístění na mapě odpovídalo reálnému umístění bodů v dostatečné přesnosti pro účely měření. Jednotlivé úkoly byly znázorněny graficky, kdy barevné body označovaly umístění shodně barevných štítků a pokyn k vyzvednutí či zanechání štítku byl předán pomocí zakroužkování vyzvedávaných štítků. Názorná ukázka vizualizace je na obrázku níže. Další varianty jsou k nalezení v přílohách č.5 až č.7



Obrázek 4-6: 2D mapa - grafické zobrazení prostoru s úkoly

Poslední variantou byla navigace pomocí rozšířené reality, kde měli probandi k dispozici seznam úkolů, který byl shodný s variantou s textovými instrukcemi. V navigaci měli probandi navíc možnost zobrazit navigační linii, která je vedle k požadovanému POI. Body zájmu probandi vybírali z rozvinovacího menu, dle zrovna plněného úkolu. Všechny

dosud zmíněné funkce probandů ovládali pomocí tlačítek, jejichž funkce byla probandům vysvětlena a názorně předvedena a mohli si ji i v rámci seznámení s aplikací zároveň s ostatními funkcemi vyzkoušet. V rohu měli probandů navíc možnost sledovat malý výřez z mapy, kde se dle navigace zrovna nacházejí.

Komplexnější varianta se od jednodušší varianty lišila navýšeným počtem bodů zájmu, přidáno bylo i více bodů, kde probandů měli vyzvedávat štítky.

#### 4.2.2 Prostor pro měření

Jako prostor pro měření bylo vybráno prostředí Západočeské univerzity, kde bylo možné kontrolovat podmínky měření a tím provést každé měření se stabilními světelnými podmínkami, bez ohledu na venkovní světelné podmínky. K měření byla vybrána rovná chodba, aby bylo možné lépe vyhodnotit spolehlivost aplikace a údaje nebyly ovlivňovány členitostí prostředí. V tomto prostředí byly za potenciální body zájmu označeny jednotlivé dveře na chodbě. Tyto potenciální body zájmu byly v prostoru rozmístěny nesymetricky, což přidávalo na komplexnosti prostředí bez dalšího členění či rozvětvení chodby.

#### 4.2.3 Podmínky měření

Měření bude probíhat vzhledem k připravené aplikaci v akademickém prostředí, kde dochází k minimálnímu zasazení do měření běžným provozem. Samotné měření bude vždy připravené předem bez probanda, aby nedocházelo k předčasnému seznámení s prostředím a trasou. Probandů budou měření odděleně, aby se předešlo ovlivnění ze strany ostatních probandů a zamezilo se jakémukoliv možnému zvýhodnění, nebo presumpci ohledně tras nebo variant.

Probandů budou obeznámeni s průběhem měření a bude jim vysvětleno, že data budou sbírána i zpracována zcela anonymně. A bude jim také oznámeno, že během měření varianty s AR navigací bude pořizován video záznam pro účely měření a pro účely dokumentace může být pořizován fotografický záznam s jehož pořizováním mohou a nemusí souhlasit.

Dále bude probandům vysvětlen postup a průběh měření, k čemu slouží, co se bude hodnotit a další náležitosti měření. Probandům bude řečeno, že měření je prováděno jako simulace možného logistického procesu a je tedy důležité jednat přesně podle postupu nebo vytyčené trasy a není možné si trasu zjednodušit. Bude také oznámeno, jaké informace se budou zaznamenávat a za jakým účelem. Probandům bude zdůrazněno, že během měření není hlavním měřeným údajem rychlost splnění, ale správnost či bezchybnost jsou stejně důležité. Pro variantu s AR navigací budou probandů požádáni, aby informovali vedoucího měření v momentě, kdy by jim AR navigace přestane pracovat, nebo jim zmizí navigační linie a nebude možné ji opět najít.

Dále bude před použitím každé z variant navigace vysvětleno, jak mají probandů zacházet s daným typem navigace a budou požádáni o stručné vysvětlení vlastními slovy pro ověření, zda funkce a způsob zacházení s navigací byly dostatečně vysvětleny.

Poté bude měření zahájeno. Proband bude mít možnost si trasu projít bez jakéhokoliv omezení a po skončení dílčího měření každé z variant, bude provedena kontrola správnosti provedení a případné chyby a jejich umístění budou zaznamenány. Po provedení posledního dílčího měření bude proband požádán o vyplnění dotazníků. Tím bude měření ukončeno a bude následovat vyhodnocení získaných dat.

#### 4.2.4 Zaznamenávané údaje během měření

Během měření kromě dotazníků, vyplňovaných po dokončení měření, budou zaznamenávány i data o rychlosti provedení dané varianty, počtu a místě výskytu chyb. Tyto údaje budou posléze použity k vyhodnocení efektivnosti a vhodnosti použití dané varianty. Údaje o místě výskytu chyby budou použity pro vyhodnocení přesnosti navigace ve vztahu k výchozímu bodu měření, kde začínali všichni probandi.

Při použití AR navigace bude pořizován i video záznam z používaného zařízení pomocí záznamu obrazovky. S použitím tohoto video záznamu bude možné po dokončení měření, přesněji určit čas výskytu chyby. Čas výskytu chyby tedy nebude zaznamenáván během měření, aby vedoucí měření mohl řádně monitorovat probanda. Při této kontrole bude možné případně i objektivnější posouzení míry nepřesnosti během používání navigace, kdy je možné, že by probandi mohli během rychlého otáčení při hledání navigační linie pouze přehlédnout. V takovém případě by se vyskytla spíše chyba na místě uživatele nežli ve funkci aplikace. V rámci dotazníkového šetření bude zjištěn i věk a pohlaví participantů, které by při dostatečném zastoupení mohly být použity k porovnání výsledků a subjektivního vnímání různých variant navigace mezi pohlavími.

#### 4.2.5 Dotazník NASA TLX

Dotazník NASA TLX (Task Load Index) je nástroj používaný k posouzení subjektivní zátěže při vykonávání určité úlohy nebo činnosti. Byl vyvinut společností NASA v 80. letech pro hodnocení zátěže astronautů při řízení raketoplánů. Dnes se používá v různých oblastech, jako je například hodnocení ergonomického designu uživatelského rozhraní, vyhodnocování výkonnosti pracovníků v průmyslových či lékařských prostředích a mnoho dalších. Dotazník se skládá z několika položek, které hodnotí různé aspekty zátěže, jako je mentální, fyzická a časová zátěž, až po subjektivní hodnocení úkolu jako celku. Tyto informace mohou pomoci designérům systémů nebo manažerům při optimalizaci pracovních podmínek a zlepšování výkonnosti. Dotazník NASA TLX hodnotí následující typy zátěže: [24]

**Fyzická zátěž:** Týká se fyzické námahy a únavy, kterou subjekt pociťuje při vykonávání úkolu, jako je třeba manipulace s těžkými předměty nebo opakující se pohyby.

**Časová zátěž:** Zahrnuje aspekty časového tlaku a náročnosti na plánování a organizaci práce během úkolu.

**Vynaložené úsilí:** Tato forma zátěže se týká informačního přenosu a komunikace během úkolu, včetně potřeby současného zpracování více informací.

**Frustrace:** Hodnotí se náročnost a složitost samotného úkolu, včetně jeho jasnosti a požadavků na různé dovednosti.

**Kvalita výkonu:** Posuzuje celkové hodnocení subjektu vzhledem k tomu, jak náročný byl úkol.

Tato šestice aspektů zátěže pomáhá posoudit celkovou zátěž, kterou subjekt pociťuje během vykonávání úkolu, a identifikovat oblasti, které by mohly vyžadovat další pozornost nebo optimalizaci. [24]

Použitý dotazník NASA TLX je inspirován původním dotazníkem, ale byl přeložen do českého jazyka a otázky byly upraveny, aby lépe vystihovaly potřeby měření. Samotný dotazník použitý během měření je k nahlédnutí v přílohách na straně i příloha č. 1.

#### 4.2.6 Stupnice použitelnosti systému (SUS)

Stupnice použitelnosti systému, často označovaná jako SUS (System Usability Scale), je metoda používaná k hodnocení uživatelského zážitku a použitelnosti systému nebo produktu.

SUS se skládá z deseti položek, které hodnotí uživatelskou spokojenost s konkrétním systémem či produktem. Respondenti odpovídají na jednotlivé tvrzení pomocí 5bodové škály, kde 1 značí "silně nesouhlasím" a 5 "silně souhlasím". Používá se k získání kvantitativního měření, jak uživatelé vnímají použitelnost daného systému, a umožňuje porovnání mezi různými verzemi systému nebo mezi různými produkty. Výhodou SUS je jeho jednoduchost a rychlost vyplnění, což umožňuje sbírat data od velkého množství uživatelů s minimálním časovým a administrativním zatížením. Výsledky SUS mohou být dále analyzovány a interpretovány, často se používají statistické metody pro zjištění průměrného skóre použitelnosti a porovnání s referenčními hodnotami nebo mezi různými verzemi produktu či konkurenčními produkty. [25]

**Neutralita:** Otázky SUS jsou formulovány tak, aby nedávaly náznaky k pozitivní nebo negativní odpovědi. To pomáhá zajistit objektivní měření uživatelské spokojenosti.

**Jednoduchost:** Díky své jednoduché struktuře a krátké délce je SUS snadno použitelný a rychlý k vyplnění, což zvyšuje pravděpodobnost získání zpětné vazby od uživatelů.

**Univerzálnost:** SUS lze aplikovat na širokou škálu systémů a produktů, včetně webových stránek, mobilních aplikací, softwaru, hardwaru a dalších technologických řešení.

**Standardizace:** Díky standardizovanému postupu a hodnotícím kritériím umožňuje SUS porovnávat použitelnost různých systémů a produktů napříč různými uživatelskými zkušenostmi a kontexty.

Validita a spolehlivost: SUS prokázal dobré psychometrické vlastnosti, včetně validity a spolehlivosti, což znamená, že poskytuje konzistentní a relevantní měření uživatelské použitelnosti. [25]

Dotazník pro vyhodnocení SUS použitý během měření se nachází v přílohách na straně ii příloha č. 2.

### 4.3 Průběh měření

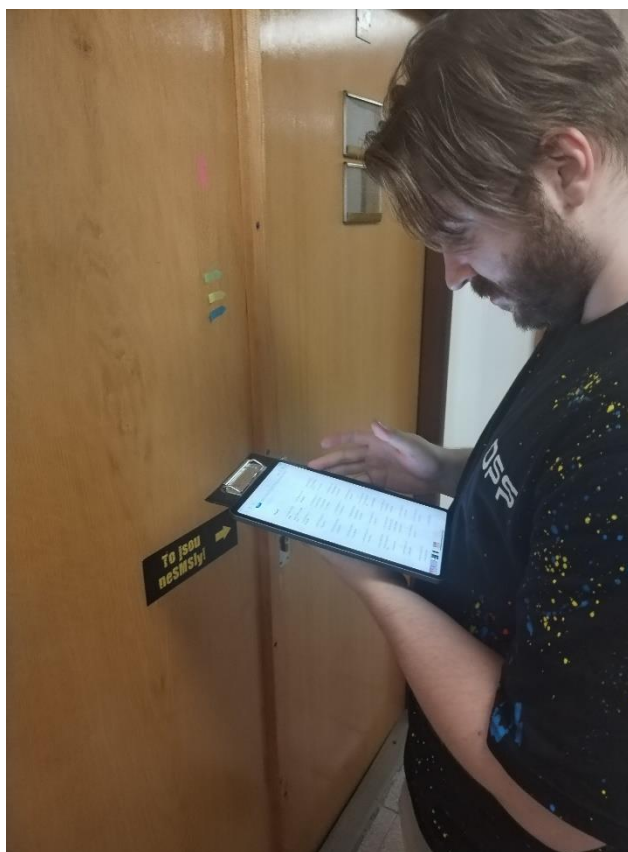
Před zahájením měření byla připravena trasa, tedy rozmístěny štítky, se kterými měl proband pracovat, všechny potřebné pomůcky jako například textové instrukce pro první variantu měření a 2D znázornění prostor, kde probíhalo měření s vyznačenou trasou. Před zahájením měření bylo ověřeno i správné fungování obou verzí aplikace, pro krátkou i dlouhou variantu měření. Dříve již byly zmíněny dva stupně komplexnosti plněných úkolů, tím se pro toto měření rozumí základní krátká trasa a rozšířená dlouhá trasa.

Probandům byly před zahájením měření vysvětleny podmínky a účel měření. Obecné informace předané probandům jsou zmíněny výše v kapitole 4.2.3, kde je vše zmíněno. Účastníci měření byli také obeznámeni o možnosti pořizování video záznamu a fotografické dokumentace průběhu měření. Všichni probandi, kteří se objevují v této práci souhlasili s pořizováním a zveřejněním fotodokumentace.

Měření s pomocí textových instrukcí probíhalo následovně. Proband dostal k dispozici dokument s instrukcemi (viz. Příloha č.3 a č.4) a desky na kterých měl dokument a zároveň na ně mohl odkládat štítky. Probandovi byly vysvětleny použité instrukce PICK UP – vyzvedni, TAKE TO (place) – vezmi na (místo), STAY AT (place) – zůstaň na (místě) a byl instruován k pozornému čtení zadání. Následně bylo zahájeno měření.

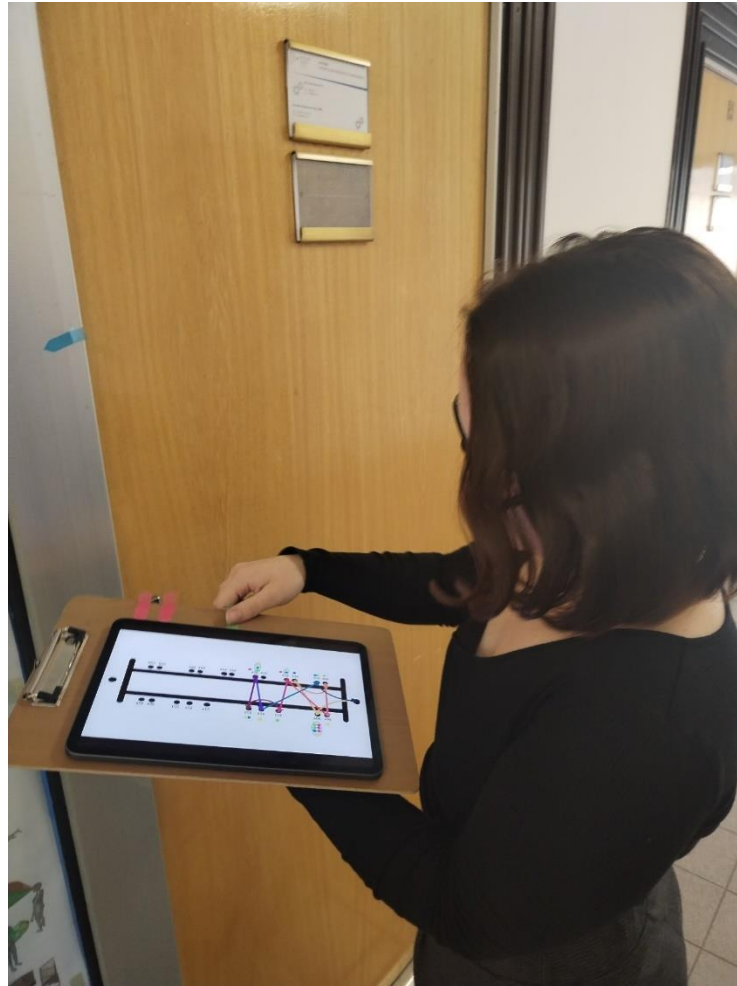


Obrázek 4-7: Ilustrační foto probanda z měření TXT



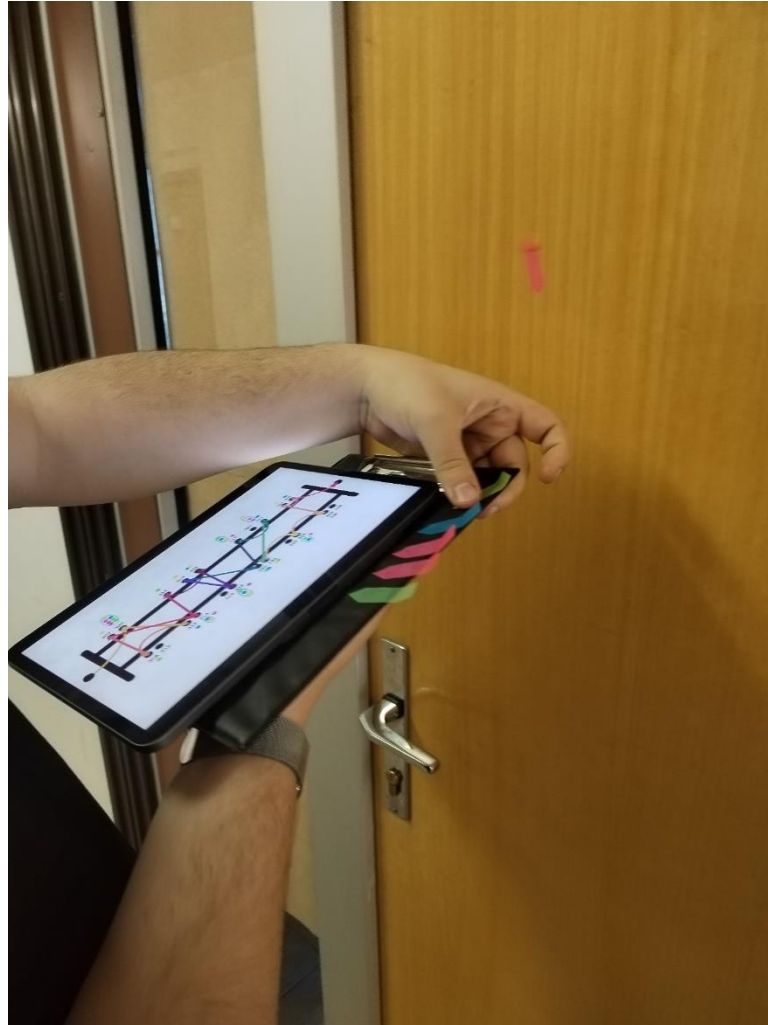
Obrázek 4-8: Ilustrační foto probanda z měření TXT - L

Při měření s vizuální pomůckou ve formě 2D mapy, měli probandi k dispozici již zmíněnou mapu prostředí, kde byla znázorněna trasa a byla obsažena vizualizace jednotlivých úkolů, pomocí barevných bodů a případně štítky míněné pro vyzvednutí označené zakroužkováním. Probandům byly vysvětleny jednotlivé komponenty mapy, aby jim správně porozuměli. Opět měli k dispozici i desky, pro odkládání štítků. Před zahájením měření bylo probandům také zmíněno, že rozložení bodů zájmu na mapě proporcionálně odpovídá i jejich poloze v reálu.



Obrázek 4-9: Ilustrační foto probanda z měření MAP - S





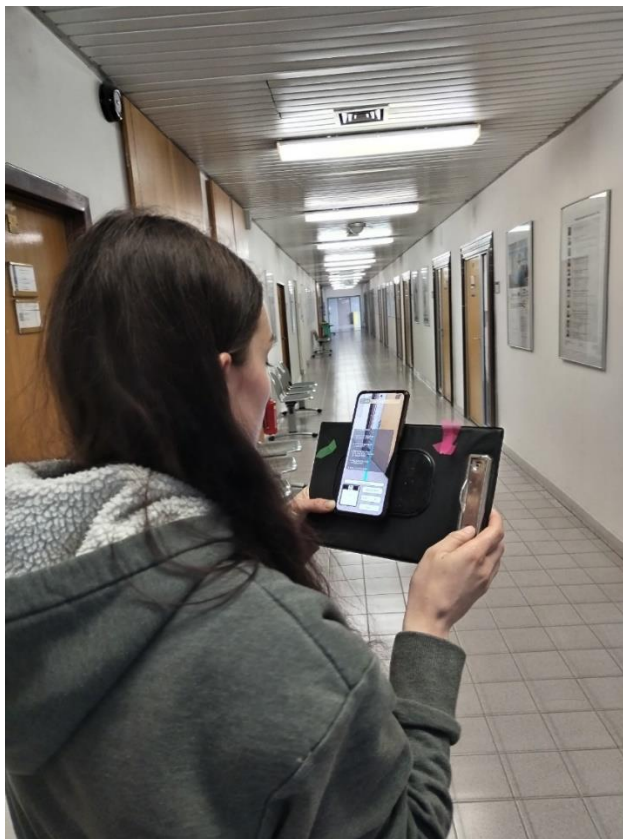
**Obrázek 4-10: Ilustrační foto probanda z měření MAP - L**

Seznámení s aplikací před měřením probíhalo velice jednoduše názornou ukázkou. Probandovi byly nejdříve popsány jednotlivé funkce aplikace, které může využít a pro potřeby měření je žádoucí, aby je i využíval a následně byly i předvedeny. Před zahájením měření bylo probandovi i umožněno si vyzkoušet práci s aplikací, aktivaci a deaktivaci naváděcí linie, zobrazení seznamu úkolů a zadávání místa zájmu pro navádění. Před zahájením měření byla na zařízení spuštěna aplikace, zkontrolována její přesnost a bylo také zapnuto nahrávání. Poté byl probandovi svěřen mobilní telefon a měření bylo zahájeno.



**Obrázek 4-11: Ilustrační foto probanda z měření ARNAV**

Každý proband postupně prošel všechny varianty navigace, mezi jednotlivými dílčími měřeními byla prováděna kontrola umístění štítků a jejich navrácení na původní polohu. Po posledním dílčím měření byl celý experiment ukončen. Probandovi byly předány dotazníky NASA TLX a SUS, které měl následně za úkol vyplnit.



**Obrázek 4-12: Ilustrační foto probanda z měření ARNAV**



**Obrázek 4-13: Ilustrační foto probanda z měření ARNAV**

### 4.3.1 Problémy při měření

Během měření nastávaly problémy s aplikací, kdy občas nahodile ztrácela přesnost, či při přímočarém pohybu vpřed zaznamenávala pohyb v před, ale samovolně se značně odchylovala od skutečné dráhy pohybu na některou stranu. Odchýlení od skutečné polohy byl nejčastější problém při používání aplikace, který znemožňoval její další efektivní využití pro navigaci. V aplikaci docházelo v takových případech o odchýlení od skutečné polohy až o více než dva metry. Tato nepřesnost se zvyšovala úměrně narůstající vzdálenosti od výchozího bodu. V některých případech došlo pouze k chvilkové ztrátě funkcionality navigační linie a s přiblížením k výchozímu bodu se její funkčnost opět navrátila. Aplikace jinak fungovala stabilně.

### 4.3.2 Limitace měření

Měření mělo několik limitací, některé z těchto limitací se týkají pouze tohoto měření a některé mohou mít přesah do praxe.

Nejvýraznějším omezením aplikace je specifické prostředí, pro které byla navržena a pro použití v jiném prostředí by musela být vytvořena na zcela novém podkladu. Aplikace by tedy vyžadovala velké množství změn.

Další limitací bylo, že probandi procházeli jak krátkou, tak dlouhou verzi dané varianty, takže danou část trasy již mohli znát. Podle pozorování probandů během měření však tato předchozí znalost prostředí měla jen malý, až spíše zanedbatelný vliv.

V neposlední řadě může být limitací i zařízení na, které je aplikace instalována, protože pro správné fungování potřebuje zařízení certifikaci od společnosti Google. Pro uživatele toto znamená, že zařízení, kterým disponuje nemusí být s AR navigací kompatibilní. V takových případech by uživatelům muselo být poskytnuto kompatibilní zařízení, nebo alternativní způsob navigace.

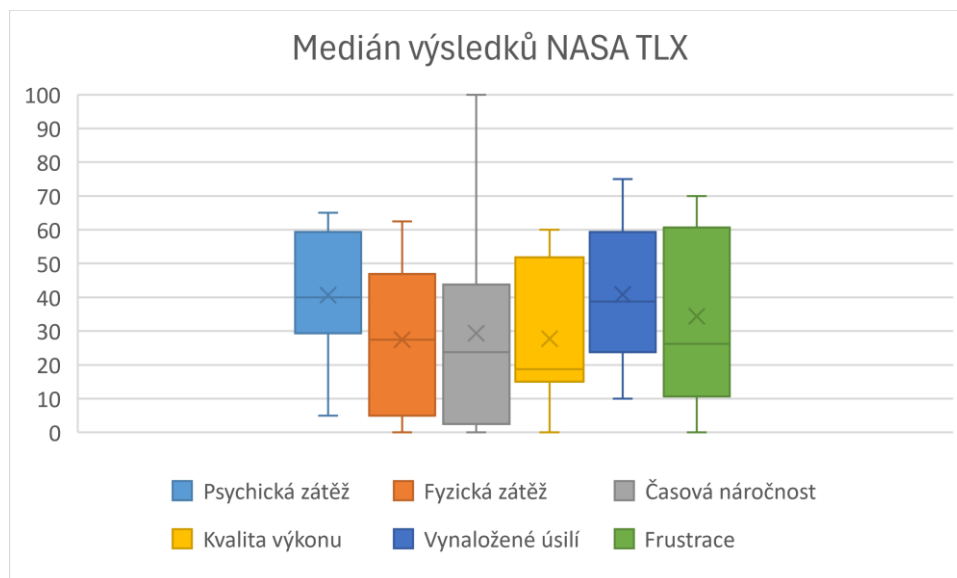
## 4.4 Výsledky měření

Interpretace výsledků měření byla rozdělena podle použité vyhodnocovací metody na tři části. První dvě se zabývají výsledky standardizovaného dotazníku NASA TLX pro vnímanou zátěž během měření a stupnice použitelnosti systému, zatímco třetí část shrnuje výsledky získané vyhodnocením ostatních zaznamenaných dat z průběhu měření. Ve třetí části budou interpretovány výsledky týkající se především spolehlivosti aplikace a chybovosti provedení zadání.

### 4.4.1 Nasa TLX

Výsledky NASA TLX je možné využít k hodnocení vnímané zátěže při provádění úkonu. Vzhledem k velkému množství dat byly pro přehlednost zobrazení zvoleny krabicové grafy, které umožňují zobrazení rozptylu dat i se střední hodnotou, ale umožňují zohlednění i odlehlých bodů. Krabicové grafy tedy budou využity k zobrazení a porovnání výsledků různých druhů zátěže mezi variantami.

Nejdříve budou představeny souhrnné výsledky přibližné zátěže během celého měření, tyto výsledky byly získány nalezením střední hodnoty napříč všemi měřeními pro každého probanda a pro každý typ zátěže.



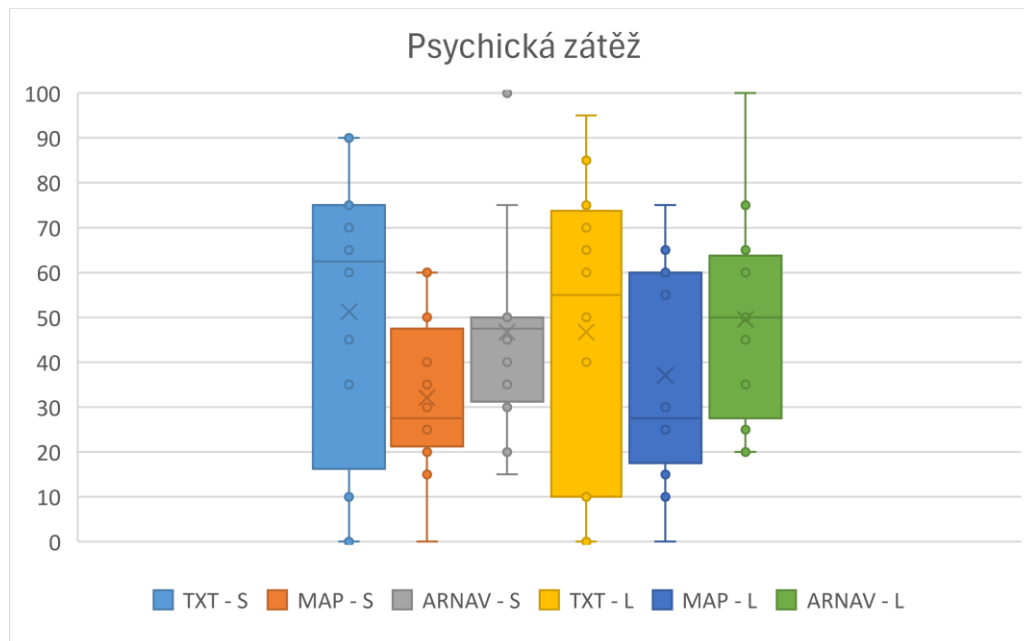
Graf 1: Medián výsledků NASA TLX

Na tomto grafu je možné vidět, že během měření probandi vnímali jako nejvíce zatěžující psychickou zátěž, jejíž druhý kvartál se jako jediný téměř zcela ohybuje mezi hodnotami 30–60. Psychická zátěž má také nejmenší rozptyl druhého kvartálu, což naznačuje, že většina probandů uváděla podobnou pociťovanou zátěž. Naopak největšího rozptylu hodnot je možné si všimnout u časové náročnosti, kdy minimální hodnotou je 0, kdy proband nepociťoval žádnou časovou zátěž a maximální hodnotou je 100, tedy extrémní časová zátěž.

Dále budou popsány grafy pro jednotlivé typy zátěže zvlášť, kde budou zároveň porovnány různé druhy navigace navzájem. Tento způsob představení výsledků byl zvolen pro zdůraznění vlivu pociťované námahy pro jednotlivé typy zátěže u různých způsobů navigace. Obrácený způsob zobrazení by spíše popisoval vnímanou náročnost každé z variant zvlášť.

### Psychická zátěž

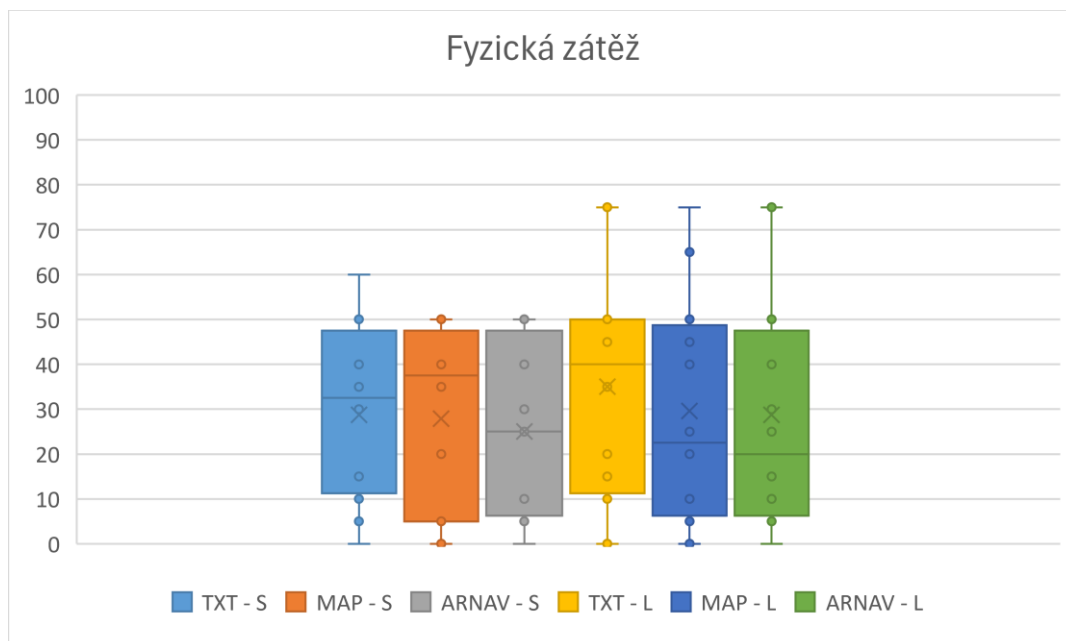
Na grafu psychické zátěže níže je možné vidět, jak probandi vnímali jednotlivé způsoby navigace v tomto ohledu. Můžeme vidět, že probandi vnímali rozdílné typy navigací různě. Je možné vidět některé ojedinělé výskyty, kdy proband shledal psychickou zátěž velmi vysokou, ale většina odpovědí se pohybovala s mírnými výkyvy v rozmezí 30-50. Přesně v tomto rozmezí (30-50) se pohyboval druhý kvartál pro užití AR navigace v krátké verzi. U tohoto typu navigace byly zaznamenány výkyvy v podobě odlehlých bodů, kdy proband považoval užití aplikace za velmi psychicky náročné uvedením maximální hodnoty 100. Podobných hodnot dosahovala i dlouhá varianta AR aplikace, kdy je třetí kvartál rozšířený až k maximální hodnotě. Téměř totožné výsledky měly obě varianty navigace pomocí psaných instrukcí, kdy minimální uváděná zátěž byla sice 0, ale maximální hodnoty bez odlehlých bodů byly 90 a 95. Medián pro navigaci pomocí textových instrukcí byl 62 pro krátkou a 55 pro dlouhou variantu. V porovnání medián pro AR navigaci je 48 a 50. Verze s vizuálními prostředky navigace má obecně nejnižší hodnoty. Medián pro obě trasy se pohybuje okolo hodnoty 29, která je téměř poloviční oproti ostatním.



Graf 2: Psychická zátěž

### Fyzická zátěž

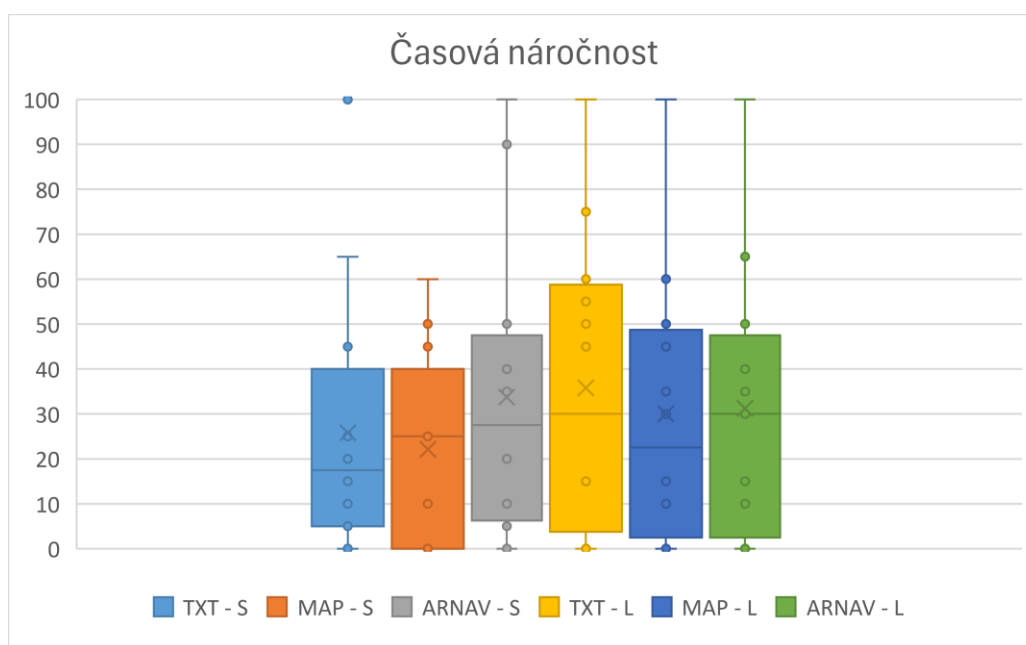
Z grafu fyzické zátěže je možné vyčíst, že až na malé odchylky byly z tohoto hlediska vnímány všechny způsoby navigace podobně. U dlouhé verze měření je možné vidět vyšší rozptyl hodnot ve třetím kvartálu, což naznačuje, že část probandů tuto delší trasu shledávalo fyzicky náročnější než krátkou trasu. Na grafu se nevyskytují žádné odlehlé body. Čím se od sebe jednotlivé varianty liší, je střední hodnota získaných dat. Na rozdíl od předchozího ukazatele u fyzické zátěže má nejnižší hodnotu medián pro variantu s AR navigací. Hodnoty mediánu vnímané fyzické námahy s užitím AR jsou 25 pro krátkou trasu a 20 pro dlouhou trasu. Hodnoty pro orientaci pomocí psaných instrukcí byly 33 a 40. Mezi těmito variantami se vyskytovaly hodnoty mediánu pro verzi s mapou, kde krátká verze se pohybovala okolo 36 a dlouhá verze okolo 24.



Graf 3: Fyzická zátěž

### Časová náročnost

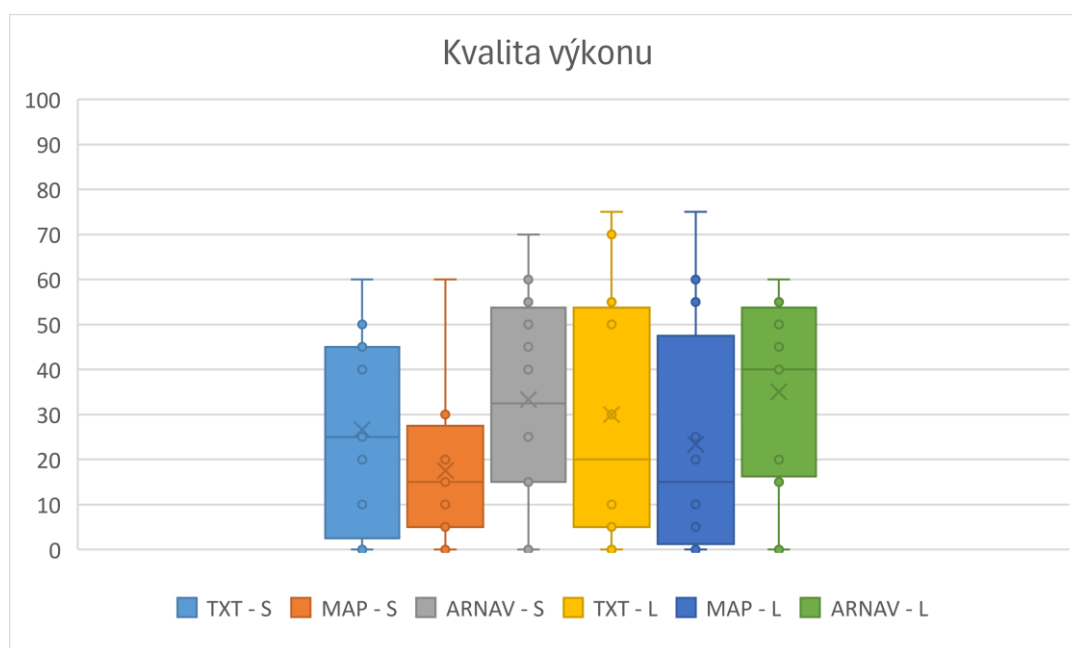
Z grafu níže je poznat, že ačkoliv většina probandů uvedla že pociťovali mírnou až střední časovou tíseň, což vyplývá z polohy většiny pozorovaných hodnot, které jsou soustředěné na spodní polovině grafu. U měření krátké trasy s použitím AR navigace a u měření všech variant na dlouhé trase se hodnoty od 75. percentilu výše pohybují nad hodnotou 50. Z toho je možné usuzovat, že menší část probandů zaznamenala vyšší až značnou časovou tíseň u těchto druhů navigace.



Graf 4: Časová náročnost

## Kvalita výkonu

Z grafu níže lze vyčíst, jak byli účastníci měření spokojeni se svými výsledky. Probandům nebyly sdělovány výsledky ostatních účastníků měření, takže šlo pouze o vlastní vnímání podaného výkonu. U tohoto aspektu byl nižší zaznamenávaný údaj považován za lepší hodnocení výkonu. Nula je tedy nejlepší možné hodnocení a 100 nejhorší možné. Jak můžeme vidět z grafu u všech variant se vyskytlo pár probandů, kteří se svým výkonem byli naprosto spokojeni, zatímco ti, kteří byli naprosto nespokojeni nebyli žádní. Dle rozložení rozptylu hodnot můžeme vidět, že nejvíce byli probandi spokojeni se svými výsledky při použití vizuální pomůcky na krátké trase, zde většina probandů uváděla hodnoty mezi 5 až 27. Hodnoty mezi 75. percentilem a 95. percentilem pro tuto variantu se pohybovaly v rozpětí 28-60. Podobně dopadla varianta s využitím AR navigace na dlouhé trase, s tím rozdílem, že většina respondentů uváděla spokojenost s vlastním výkonem v rozmezí od 15 do 53. Sedmdesátý pátý percentil se tedy nacházel na hodnotě 54 a s 95. percentilem na hodnotě 60, můžeme v grafu vidět, že je mezi nimi mnohem menší vzdálenost než u předchozí zmíněné varianty. Střední hodnoty obou variant jsou od sebe také značně vzdálené. Medián pro variantu s mapu na krátké trase je 15 a pro AR navigaci na dlouhé trase je to 40. Pro lepší možnost srovnání je možné uvést i hodnotu získanou AR navigací pro krátkou trasu, ta byla 33. Kratší verze aplikace dopadla tedy o něco lépe, její delší varianta.



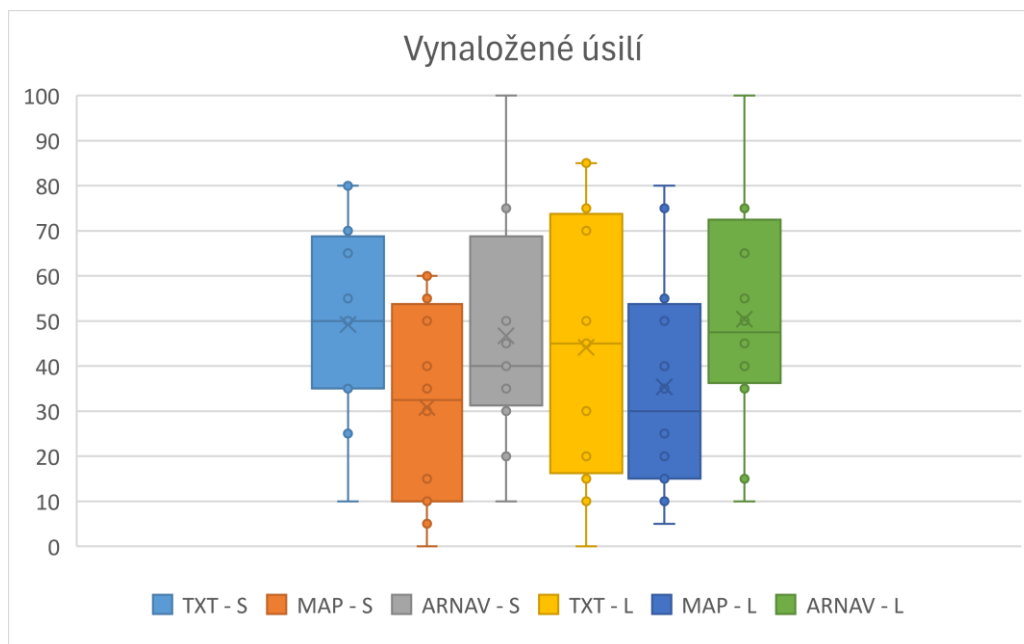
Graf 5: Kvalita výkonu

## Vynaložené úsilí

Dalším hodnoceným aspektem je úsilí, které museli probandi vynaložit pro splnění zadání. Z grafu můžeme vidět, že obecně nejnižší hodnoty získaly varianty s vizuální reprezentací zadání s minimálními hodnotami 0 a 5, mediány na hodnotách 32 pro krátkou verzi a 30 pro delší verzi trasy a maxima dosahovala hodnot 60 a 80. Použití AR navigace vyžadovalo od některých probandů extrémní vypětí úsilí, jak tomu nasvědčuje rozptyl hodnot od 75. percentilu přibližně na hodnotě 70 až k udávanému maximu na hodnotě 100. Minimální hodnota u AR navigace byla 10 a to u obou verzí. Psané instrukce jako navigační pomůcka vyžadovaly od účastníků vynaložení střední míry úsilí. Minima pro tento způsob byly 10 a 0, kdy 0 získala delší verze. Maxima se pohybovala na hodnotách 80 a 85, kdy delší varianta měla



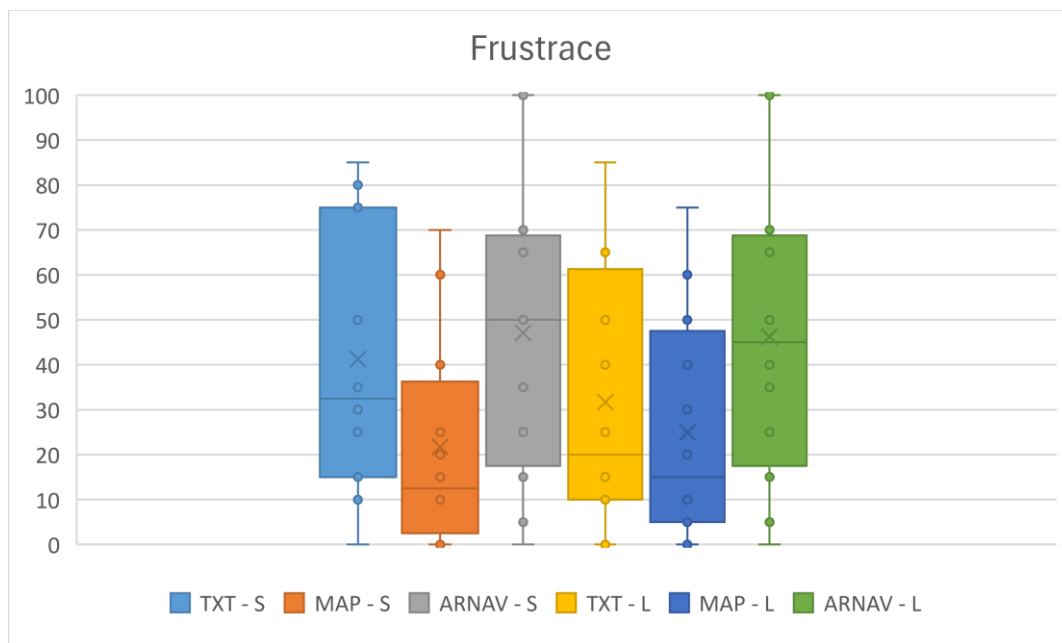
větší celkový rozptyl hodnot s rozsahem 0-85. Přestože AR navigace měla srovnatelná minima a vyšší maxima než textová verze navigace, zejména u kratších verzí měření je možné vidět značný rozdíl ve středních hodnotách, kdy medián pro AR navigaci se pohybuje na hodnotě 40 a pro slovní instrukce na hodnotě 50. Z toho je možné usoudit, že využití AR bylo větší částí probandů hodnoceno mnohem pozitivněji.



Graf 6: Vynaložené úsilí

## Frustrace

Na grafu je znázorněna probandy pocíťovaná frustrace během měření. Na první pohled je možné vidět, že pro probandy bylo nejvíce frustrující použití AR navigace, ta jako jediná dosáhla v maximech na hodnotu 100, tedy velmi frustrující. Opačné nulové hodnoty naopak dosáhly všechny způsoby navigace. Jak je možné si všimnout Nejmenšího rozptylu hodnot bylo dosaženo u varianty s využitím mapy, maxima pro tento způsob navigace byly 70 pro krátkou a 85 pro dlouhou trasu. Medián pro obě trasy s mapou se pohyboval okolo hodnoty 15, což naznačuje, že tento způsob navigace nebyl pro probandy příliš frustrující. Na rozdíl od toho medián pro AR navigaci se pohyboval mezi 45-50, takže lze usoudit, že tato varianta byla pro probandy mírně až středně frustrující.



Graf 7: Pociťovaná frustrace

#### 4.4.2 Stupnice použitelnosti systému SUS

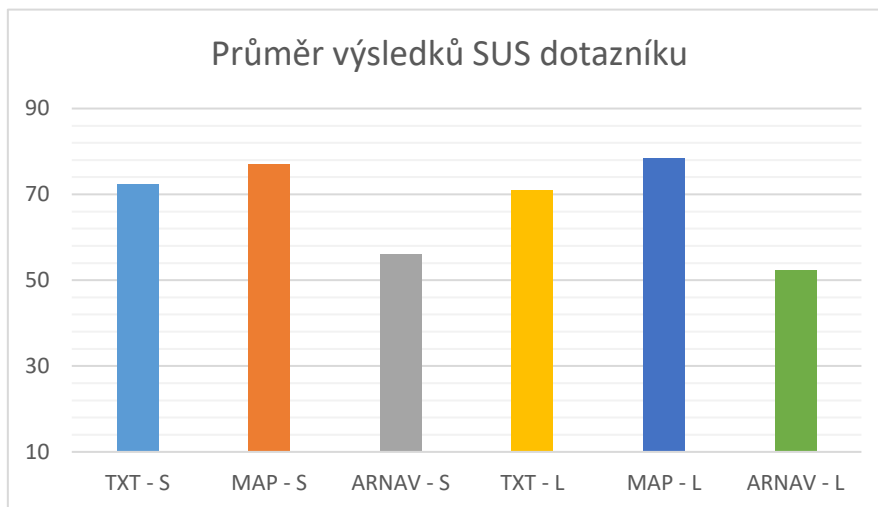
Stupnice použitelnosti systému, jinak také známá jako SUS vypovídá o přívětivosti systému a jeho funkcí k uživateli. Jak název napovídá jedná se o stupnici, která je rozdělena na různé pásy akceptovatelnosti systému. Pro připomenutí je stupnice je často pro zjednodušení dělena na několik úseků hodnocení a to výborné, dobré, uspokojivé, slabé či špatné a nejhorší možné. Rozdělení stupnice i s hodnotami můžeme vidět na obrázku níže.



Obrázek 4-14: Škála pro vyhodnocování SUS dotazníku [26]

Podobně jako bylo trendem u výsledků z NASA TLX tak je i zde v grafu níže možné si všimnout, že využití navigace s mapou a vizuálními instrukcemi bylo mezi účastníky měření přijímáno nejlépe. Výsledné hodnoty byly 76,87 a 78,33 to obě verze této navigace řadí do kategorie dobré akceptovatelnosti. Při podrobnějším dělení dle percentilu by se využití mapy pro krátkou trasu řadilo do 79.percentilu, zatímco využití toho samého způsobu navigace pro delší trasy se řadí spíše do 83.percentilu. Další byla varianta s verbálními instrukcemi, která byla také velmi dobře přijímána s výsledným skóre 72,29 a 70,83. I tato varianta by měla být dobře akceptovatelná s umístěním kolem 63.percentilu pro krátkou trasu a 55.percentilu pro dlouhou trasu. Poslední ještě nezmíněnou verzí je navigace s využitím AR aplikace. SUS skóre

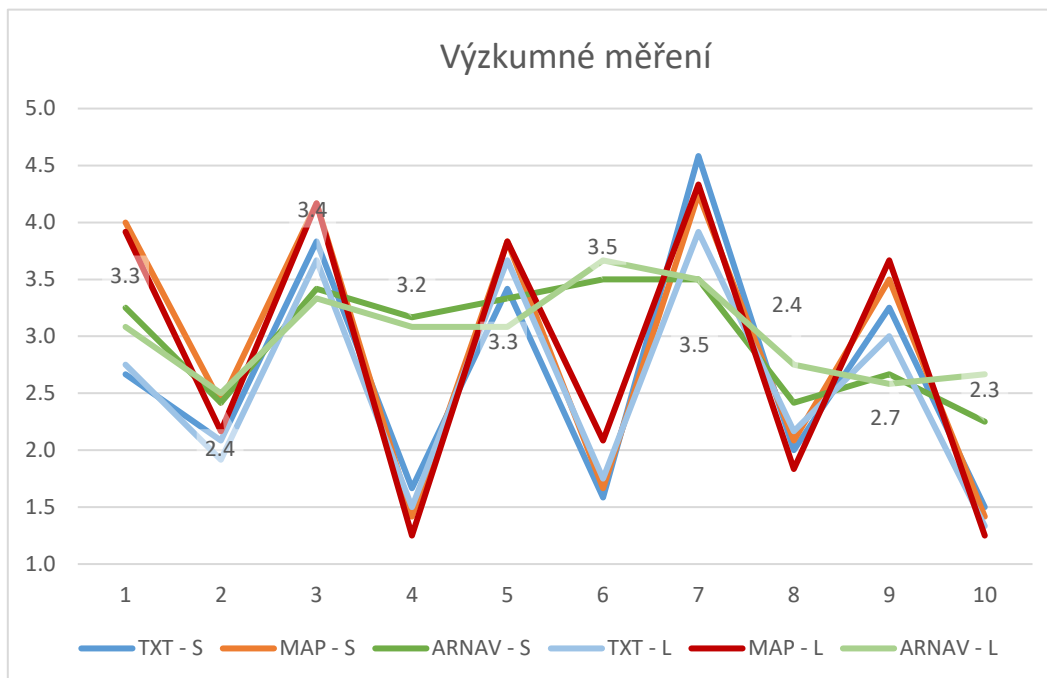
pro tuto variantu vyšly 56,04 a 52,29, tím se aplikace řadí mezi uspokojivě použitelné systémy. Tímto skóre se aplikace umístila někde mezi 15. a 34.percentilem. Přesné hodnoty je možné najít v tabulce níže.



Graf 8: Průměr výsledků SUS dotazníku

Varianta	TXT - S	MAP - S	ARNAV - S	TXT - L	MAP - L	ARNAV - L
Průměr	72,29167	76,875	56,0416667	70,833333	78,333333	52,2916667
Medián	68,75	83,75	56,25	63,75	86,25	52,5

Tabulka 1: Výsledky SUS dotazníku dle variant navigace



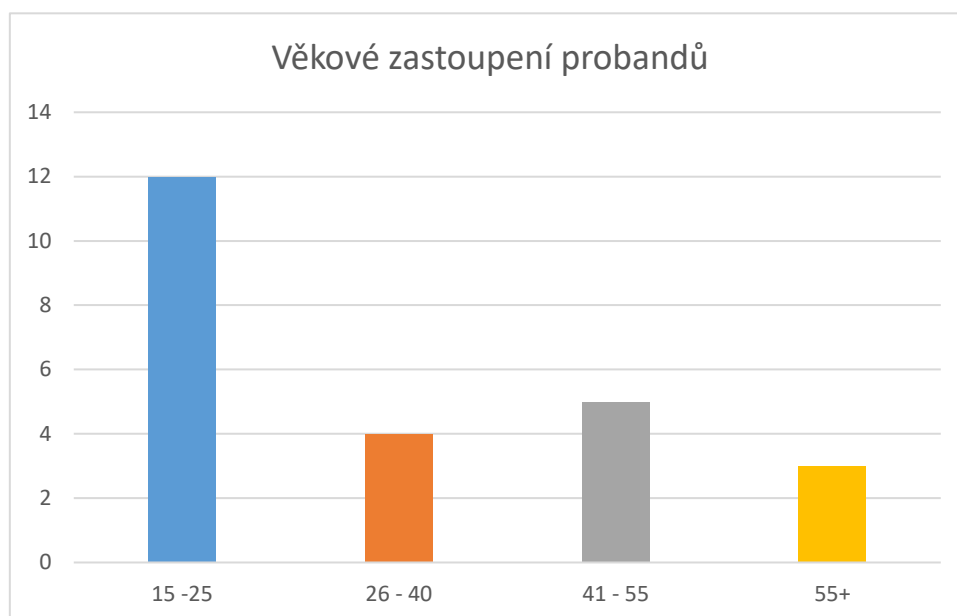
Graf 9: Výsledky jednotlivých otázek SUS dotazníku

### 4.4.3 Další výsledky

Mezi další výsledky byly zařazeny údaje získané jinak než ze standardizovaných dotazníků. Do této kategorie tedy spadají i informace o věku a pohlaví probandů. Krom těchto údajů je sem možné zařadit i data sbíraná během měření, která byla následně použita pro vyhodnocení například rychlosti provádění úkolů, výskytu a četnosti chyb a spolehlivosti aplikace.

#### Demografické složení probandů

Měření se účastnilo celkem 24 dobrovolníků v různých věkových kategoriích. Nejsilněji zastoupenou skupinou je kategorie 15-25 let s 12 probandy. Další kategorie byly 26-40 let, 41-55 let a poslední měřenou věkovou kategorií byla skupina nad 55 let se třemi probandy. Kategorie 26-40 let a 41-55 měly čtyři a pět probandů. Věkové kategorie byly zvoleny dle předpokládaného využití aplikace a zaměření měření, proto nebyly měřeny děti a mladiství, kteří by se ještě nevyskytovali v pracovním prostředí a také nebyli měřeni lidé ve vyšším důchodovém věku. Přehledné zobrazení rozdělení probandů do jednotlivých věkových skupin je možné vidět na grafu níže.



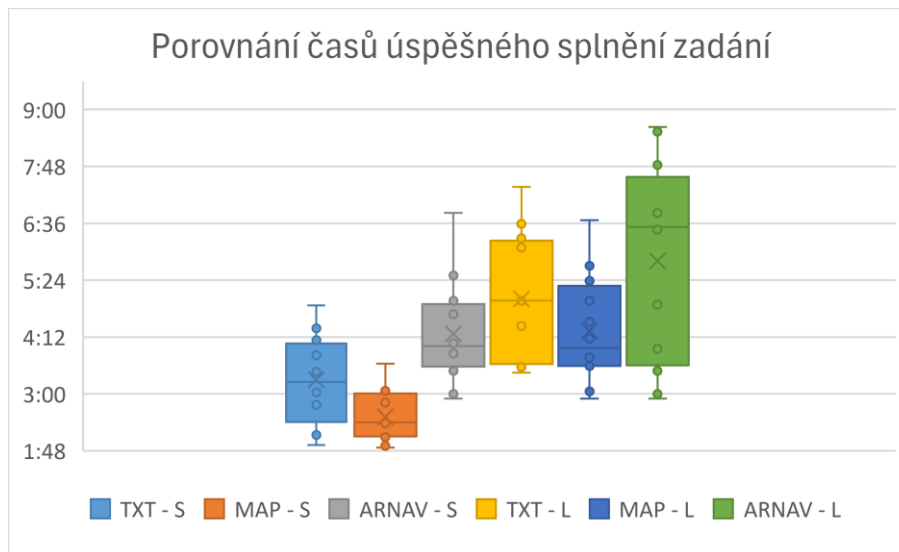
Graf 10: Věkové zastoupení probandů

Z demografického hlediska lze probandy rozdělit ještě na dvě skupiny, na muže a ženy. Kdy se měření účastnilo dvanáct mužů a dvanáct žen. Poměrové zastoupení žen a mužů bylo tedy půl na půl. Tohoto rozdělení nebylo dosaženo záměrně, ale tento poměr usnadňuje interpretaci v momentě porovnání výsledků mezi těmito dvěma demografickými skupinami.

#### Rychlost úspěšného splnění zadání

Rychlost splnění zadání byla měřena od zahájení plnění zadání až po dokončení posledního úkolu. Důležité je také, že jde o úspěšné splnění, kdy pro variantu s AR navigací nebyly započítávány neúspěšné instance a proband byl namísto toho vyzván k opětovnému dokončení měření. Jak je možné vidět na grafu níže probandi nejrychleji plnili úkoly za použití mapy a vizuálních instrukcí. Způsob navigace za použití mapy měl velmi rychlé časy pro obě varianty trasy. Naopak časy při použití aplikace byly nejdéší z měřených variant. Vysoký čas při používání aplikace může být způsoben potřebou přepínat mezi jednotlivými body zájmu. Přesnější rozptyl časů pro jednotlivé varianty můžeme vidět níže, kdy TXT-S odpovídá krátké

variantě s verbálními instrukcemi, MAP-S krátké variantě s mapou a vizuálním zadáním a ARNAV-S náleží krátké variantě s AR navigací. V grafu použité zkratky končící na L označují dlouhou variantu a odpovídají svým protějškům v krátké variantě měření. ARNAV-L je tedy dlouhá verze trasy za využití AR navigace.

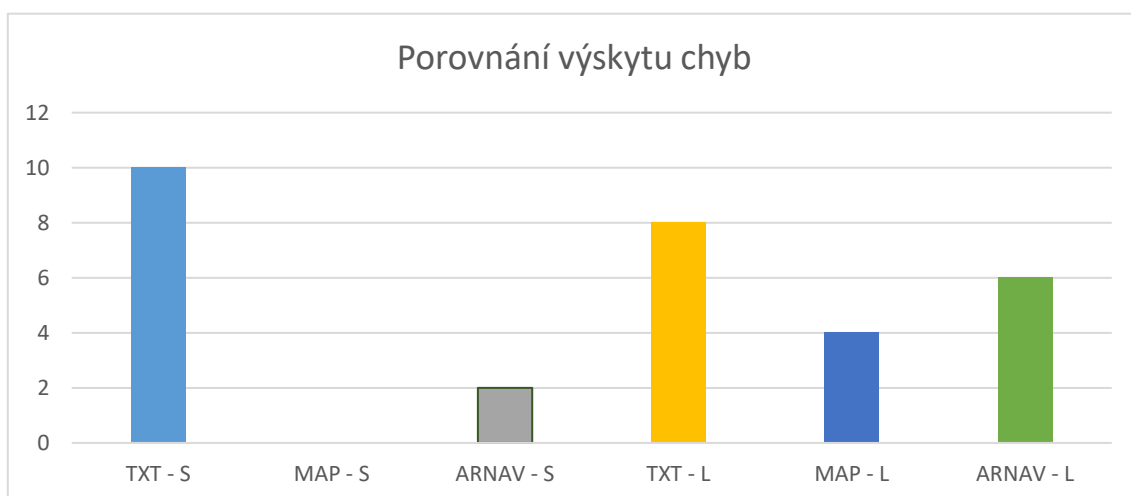


Graf 11: Porovnání časů úspěšného splnění zadání

### Výskyt chyb u jednotlivých variant

Chyby byly zaznamenávány během a po skončení každého dílčího měření, kdy jako chyba bylo počítáno nevyzvednutí, nebo neumístění štítku a jakékoliv chybné umístění štítku. Chybným umístěním se rozumí umístění štítku na nesprávné pozici, nebo umístění nesprávné barvy. Jako chyba bylo počítáno i vyzvednutí nesprávné barvy štítku.

Podobně jako u předchozího sledovaného aspektu byly výsledky pro MAP-S nejlepší, bez jakékoliv chyby provedené kterýmkoliv z probandů. Nejhůře poté dopadla s deseti chybami krátká varianta textových instrukcí. V následujícím grafu můžeme vidět, že u textových instrukcí komplexní varianty (TXT-L) se vyskytlo osm chyb.



Graf 12: Porovnání výskytu chyb

Avšak počet chyb se ne vždy rovná počtu probandů, kteří udělali chybu. Někteří probandi během jednoho dílčího měření udělali i více než jednu chybu, avšak ne více než dvě, a i tyto

byly spíše výjimkou. Rozložení chyb mezi jednotlivé probandy můžeme vidět v následující tabulce:

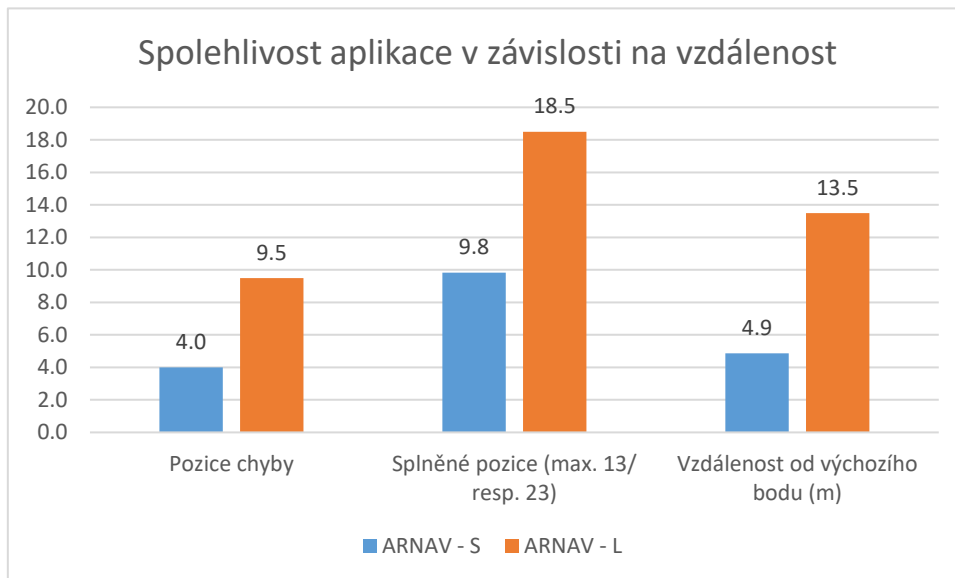
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
TXT - S	0	0	0	2	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	1	0	0
MAP - S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARNAV - S	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
TXT - L	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
MAP - L	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
ARNAV - L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0

Tabulka 2: Výskyt chyb dle metody navigace a probanda

### Spolehlivost AR navigace během měření

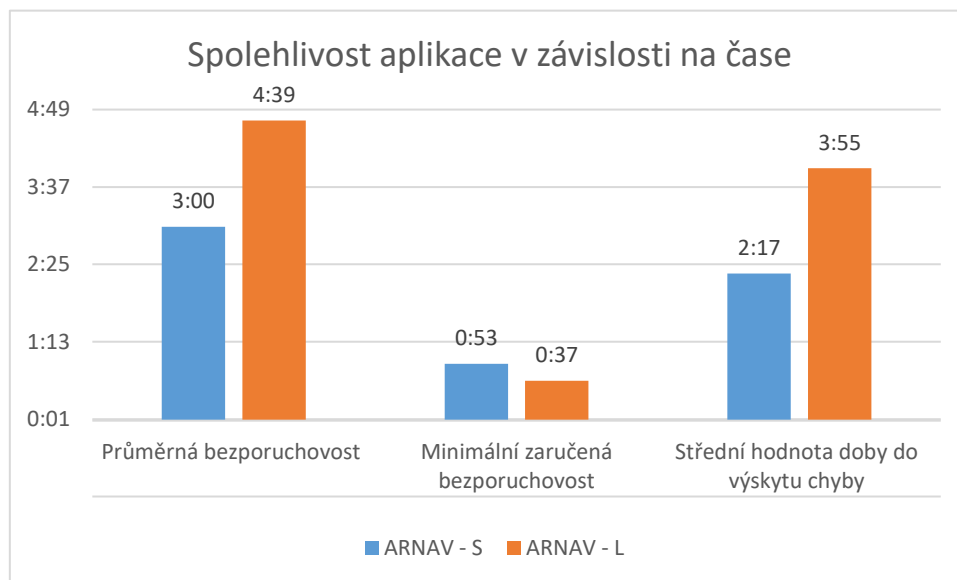
S využitím kombinace zaznamenávaných dat byla spolehlivost aplikace hodnocena dvěma způsoby. Prvním byla spolehlivost aplikace s přihlédnutím na vzdálenost od výchozího bodu měření a druhým byl čas od zahájení měření, a tedy začátku manipulace se zařízením na kterém byla spuštěná aplikace. Dalším uvedeným údajem je počet úspěšně splněných operací, před výskytem fatální chyby v aplikaci, kdy fatální chybou rozumíme ztrátu funkčnosti navigační linie, nebo takovou odchylku domnělé polohy v aplikaci od skutečné polohy probanda, že využití aplikace ztratilo jakoukoliv přidanou hodnotu.

Na grafu níže můžeme vidět znázornění spolehlivosti aplikace ve vztahu k vzdálenosti. Toto je popsáno pomocí tří zobrazených údajů pozice chyby, splněné pozice a vzdálenost od výchozího bodu. V grafu jsou uváděny průměrné hodnoty ze získaných dat, proto je možné získat i jiné než celé hodnoty u pozic. Pozice chyby uvádí průměrnou pozici v seznamu úkolů, kde se vyskytla fatální chyba. Splněné pozice označují průměrný počet pozic, který každý proband mohl splnit před výskytem chyby aplikace. Pokud se během měření nevyskytla chyba bylo počítáno s tím, že proband splnil celou trasu před výskytem chyby. Vzdálenost od výchozího bodu byla změřena pro jednotlivé pozice.



Graf 13 Spolehlivost aplikace v závislosti na vzdálenosti

Další graf zobrazuje spolehlivost aplikace v závislosti na čase, kdy můžeme na grafu najít tři různé údaje, a to průměrnou bezporuchovost, minimální zaručenou bezporuchovost a střední hodnotu doby do výskytu chyby. Průměrná bezporuchovost udává průměrnou dobu, po kterou aplikace fungovala bez problému. V tomto údaji jsou zahrnuty i měření, kdy ve výskytu chyby nedošlo a byly tedy započítány, jako zcela bezporuchové. Minimální zaručená bezporuchovost označuje nejkratší dobu, ve které se stihla objevit dostatečně významná odchylka mezi polohou v aplikaci a ve skutečnosti. Střední hodnota doby do výskytu chyby popisuje medián ze všech naměřených časů, kdy se vyskytla chyba.

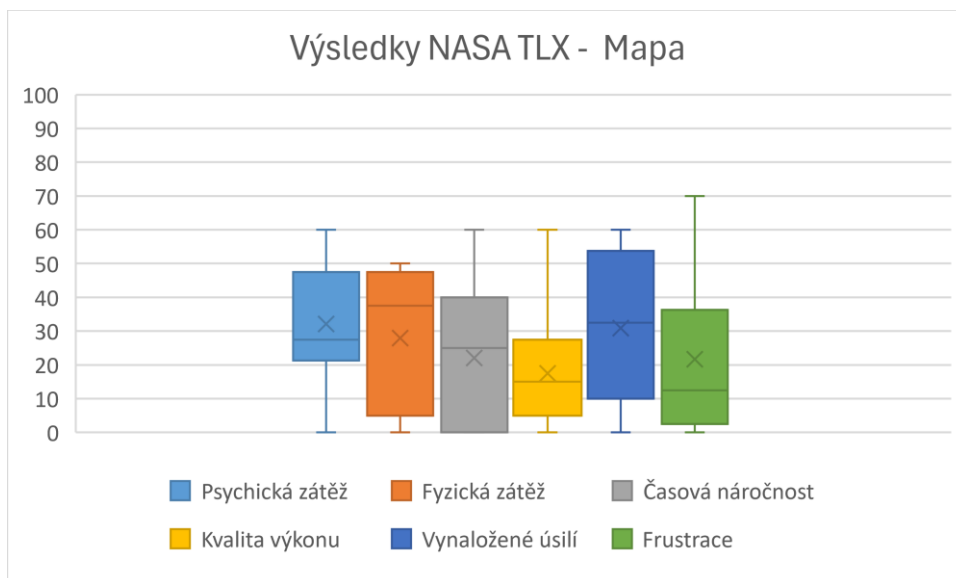


Graf 14: Spolehlivost aplikace v závislosti na čase

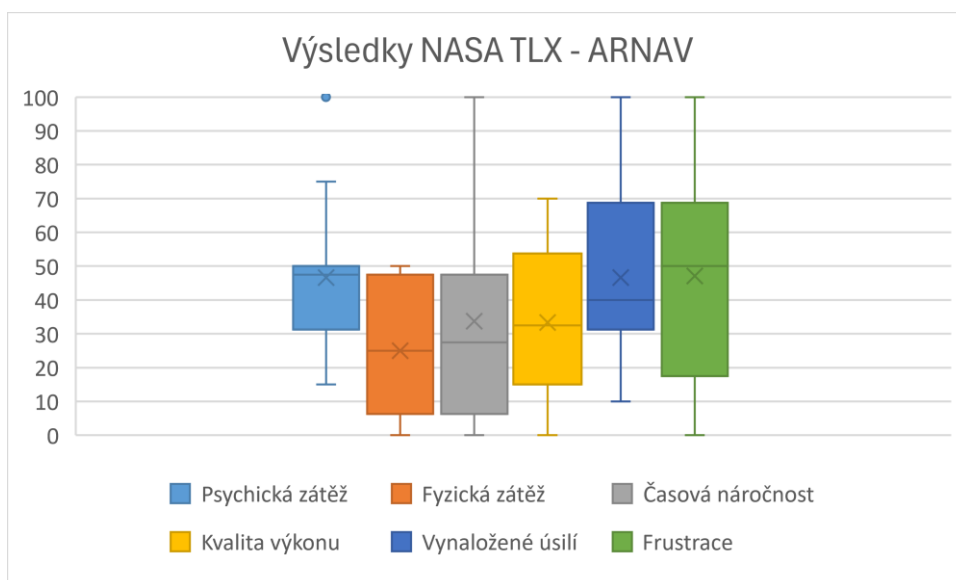
Tyto údaje společně poskytují představu o tom, jak spolehlivá aplikace je v různých ohledech. Vzdáleností, jak daleko je možné se vzdálit od výchozího bodu a časem, jak dlouho je aplikace běžně spuštěna a jak dlouho je manipulováno se zařízením, než se vyskytne chyba.

#### 4.4.4 Interpretace výsledků

Dle dříve představených výsledků je možné říci, že ve většině případů nejlépe hodnocené bylo využití mapy s vyznačenou trasou a úkoly. Další v pořadí bylo využití AR aplikace. Dá se říci, že jako konstantně nejhorší vycházelo použití textové varianty, kdy měli probandi k dispozici pouze zadání plněných úkolů a trasy si museli hledat sami. Jak dopadly jednotlivé metody navigace lze posoudit z grafů níže, kde jsou vidět výsledky pro posuzovanou aplikaci a probandy často lépe hodnocenou mapou trasy s vizuálním zobrazením úkolů.



Graf 15: Výsledky NASA TLX pro variantu s 2D mapou



Graf 16: Výsledky NASA TLX pro variantu s AR aplikací

Kde měla AR aplikace horší výsledky, než bylo očekáváno bylo u vynaloženého úsilí a pociťované frustrace. Vysvětlení tohoto propadu, ale může být podobné jako u hodnocení časů splnění zadání, kde průměrný čas splnění s aplikací byl přibližně o 50 vteřin delší než ostatní metody. U obou případů lze soudit, že toto měla na svědomí nutnost přepínat mezi body zájmu v aplikaci, nebo potřeba hledání navigační linie. V takových případech je pochopitelné, že proband bude pociťovat vyšší míru frustrace, pokud se mu nedaří navigační linii najít, nebo musí vynaložit větší úsilí, pokud zapomene, jaký bod v seznamu úkolů plnil. S takovými zdrženímí je zcela srozumitelné, že opětovné zorientování se zabere nějaký čas, a to jsou následně ty vteřiny navíc, které zvyšovaly průměrný čas. Přesné údaje pro porovnání se nacházejí v tabulce níže.



Varianta	TXT - S	MAP - S	ARNAV - S	TXT - L	MAP - L	ARNAV - L
Frustrace	41,25	21,67	47,08	31,67	25,00	46,25
Vynaložené úsilí	49,17	30,83	46,67	44,17	35,42	50,42
Čas splnění	3:17	2:30	4:15	5:00	4:19	5:48

**Tabulka 3: Výsledky frustrace, vynaloženého úsilí a času splnění dle varianty**

Kde navigační aplikace dopadla překvapivě dobře je z hlediska fyzické zátěže. Ačkoliv se na první pohled v tomto ohledu mohlo zdát, že rozptýl hodnot všech metod byl podobný, nižší hodnoty mediánů AR navigace nasvědčovaly tomu, že větší část probandů, považovala tuto variantu za méně náročnou.

Chybovost byla opět nejnižší u varianty s mapou, toto je možné vysvětlit vizualizací úkolů, kdy proband měl možnost vidět grafické zastoupení každého fyzického předmětu, se kterým měl v danou chvíli pracovat. Využití aplikace dopadlo jen o trochu hůře, kdy se u obou instancí měření vyskytlo jen o dvě chyby více než u varianty s mapou. U varianty s textovým zadáním úkolů bylo uděláno nejvíce chyb, ačkoliv by se dalo říci, že probandy od plnění úkolů nerozptylovaly, žádné další podněty z měření.

#### 4.4.5 Porovnání výsledků s předchozí studií

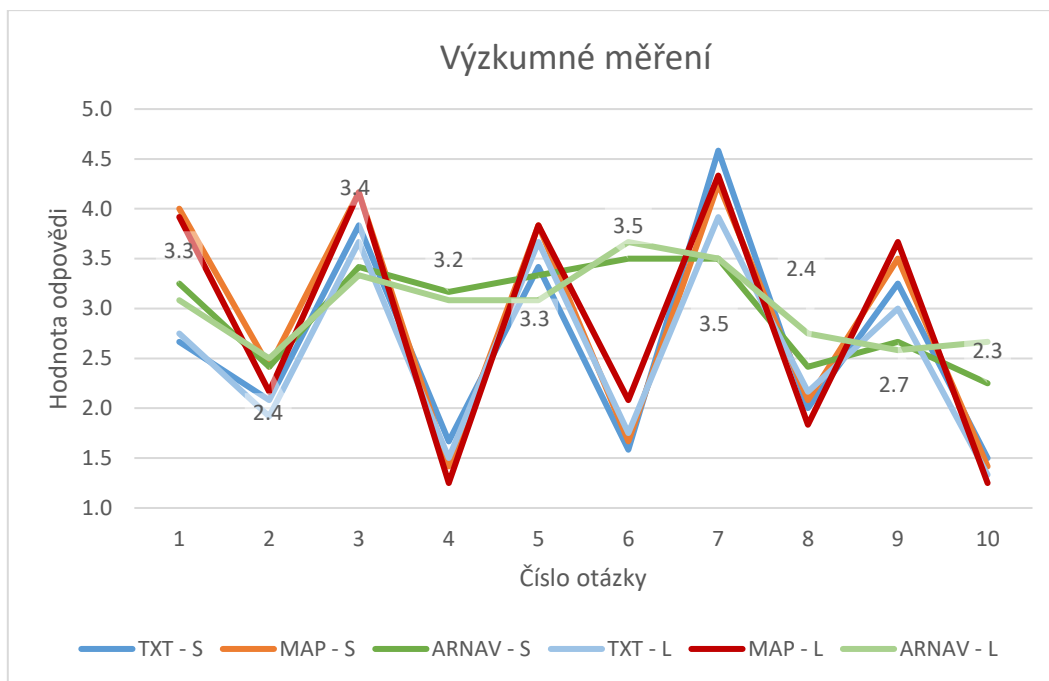
Během předchozí studie měli probandi možnost si projít trasu odpovídající krátké verzi měření v této kvalifikační práci. Na rozdíl od předchozí studie, kde proband vyzkoušel jen jeden typ navigace, v průběhu měření pro tuto práci si proband mohl vyzkoušet všechny metody navigace.

Předchozí studie uvádí pouze výsledky uživatelské přívětivosti získané pomocí dotazníku SUS, proto budou srovnávány pouze tyto výsledky. K dispozici jsou sice jen výsledky SUS dotazníku, za to je možné porovnat výsledky pro každou z deseti otázek.

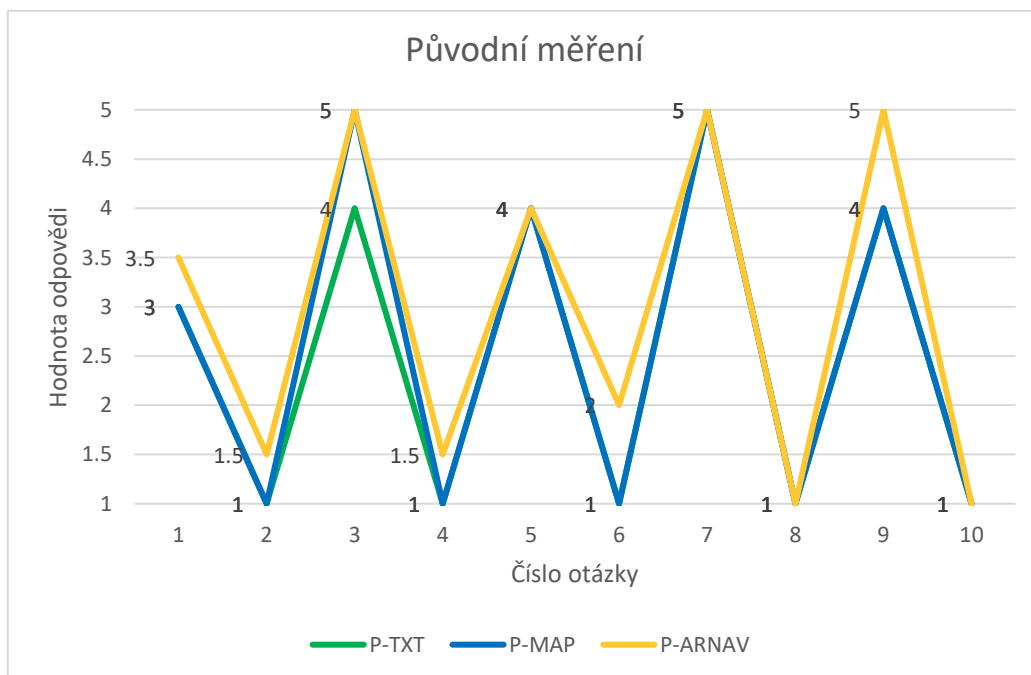
Na grafu 17 níže můžeme vidět výsledky jednotlivých otázek každé z variant pro měření v této práci. Z grafu je jasné, že varianty s AR navigací se jasně odlišují od zbylých variant, čemuž tak u měření předchozí studie nebylo. Jak je možné všimnout na dalším grafu 18 všechny varianty mají jasně definované vrcholky a jednotlivé metody se od sebe hodnotami liší jen mírně. Tento rozdíl může být způsoben právě možností si vyzkoušet všechny metody navigace během měření pro tuto práci a vzájemně je porovnat, zatímco u předchozího měření měli probandi zkušenosti jen s jedním druhem navigace a ten hodnotili.

Nejmarkantnější výkyvy hodnot pro navigační aplikaci se vyskytují podobně jako v předchozím měření u otázek číslo 4 a 6, které byly v předchozí studii zmiňovány. Tyto otázky se zabývaly speciálně potřebou technické podpory jiné osoby a výskytu nesrovnalostí v systému. U obou měření probandi uvedli, že by při používání uvítali přítomnost technické osoby a také se jim zdálo, že se v systému vyskytoval větší počet nesrovnalostí. Z grafu pro měření provedené v této práci je toto jednoznačně vidět, zatímco u předchozího měření rozdíl nebyl na první pohled tak velký.

Odlíšné výsledky od předchozího měření bylo zjištěno pro otázku č.10. Probandi v předchozím měření uvedli, že ani pro práci s aplikací se nemuseli učit velké množství nových věcí. Výsledky této práce ale naznačují, že pro práci s aplikací se probandi museli naučit více nových věcí než u zbylých dvou variant.



Graf 17: Výsledky otázek SUS dotazníku pro výzkumné měření



Graf 18: Výsledky otázek SUS dotazníku z předchozí studie

## 5 Zhodnocení aplikace

Aplikace byla hodnocena v mnoha ohledech. Hodnocení se týkalo pocíťované zátěže při plnění zadaných úkolů i stupně použitelnosti systému. Dalšími způsoby hodnocení aplikace byly chybovost plnění zadání a spolehlivost aplikace.

Aplikace dopadla nejlépe u pocíťované fyzické zátěže, kdy větší část respondentů uvedla, že pocíťovali pouze mírnou fyzickou zátěž. Hodnoty mediánu vnímané fyzické námahy s užitím AR byly 25 pro krátkou trasu a 20 pro dlouhou trasu. U ostatních posuzovaných zátěží dopadla posuzovaná aplikace bohužel pouze průměrně dobře.

Z hlediska psychické zátěže byly zaznamenány výkyvy v podobě odlehlých bodů, kdy proband považoval užití aplikace za velmi psychicky náročné uvedením maximální hodnoty 100, ale většina hodnot se pohybovala v rozmezí 30-50. Podobných hodnot dosahovala i dlouhá varianta AR aplikace.

U měření krátké trasy s použitím AR navigace a u měření všech variant na dlouhé trase se hodnoty časové zátěže od 75. percentilu dále pohybují nad hodnotou 50. Z toho je možné usuzovat, že menší část probandů zaznamenala vyšší až značnou časovou tíseň u všech druhů navigace, ale o trochu významněji u AR navigace.

Při využití AR navigace na dlouhé trase většina respondentů uváděla spokojenost s vlastním výkonem v rozmezí od 15 do 53, kdy čím nižší výsledek tím více spokojený proband byl. Sedmdesátý pátý percentil se nacházel na hodnotě 54 a s 95. percentilem na hodnotě 60. Žádný z probandů, tedy nebyl výrazně nespokojen s vlastním výkonem. Kratší verze aplikace dopadla o něco lépe než její delší varianta.

Použití AR navigace vyžadovalo od některých probandů extrémní vypětí úsilí, jak tomu nasvědčuje rozptyl hodnot od 75. percentilu přibližně na hodnotě 70 až k udávanému maximu na hodnotě 100. Minimální hodnota u AR navigace byla 10 a to u obou verzí. I přes tyto výsledky byla AR aplikace hodnocena o něco lépe než poslední metoda bez jakýchkoliv navigačních prvků.

Na první pohled je možné vidět, že pro probandy bylo nejvíce frustrující použití AR navigace, ta jako jediná dosáhla v maximech na hodnotu 100, tedy velmi frustrující. Na rozdíl od toho medián pro AR navigaci se pohyboval mezi 45-50, takže lze usoudit, že tato varianta byla pro probandy mírně až středně frustrující. To mohlo být hlavně zapříčiněno prací s neznámým prostředím aplikace.

SUS skóre aplikace vyšly v hodnotách 56,04 a 52,29, tím se aplikace řadí mezi uspokojivě použitelné systémy. Tímto skóre se aplikace umístila někde mezi 15. a 34. percentilem. Při pohledu na výsledky jednotlivých otázek z výsledků vyplývá, že hlavními problémy byly právě množství nových informací, které museli probandi přijmout pro práci s aplikací a pocitem potřeby technické osoby. Vzhledem k spolehlivosti aplikace je to pochopitelné, protože během měření aplikace postupně ztrácela přesnost a v momentě, kdy odchylka přesáhla polovinu šířky chodby využití navigace bylo velmi náročné.

Počet chyb, které probandi během měření udělali nebyl u měření s aplikací tak vysoký, Na dlouhé trase udělali probandi celkem šest chyb, kdy dvě chyby byl maximální počet chyb udělaných jedním probandem.

Lépe hodnoceno bylo vždy využití 2D mapy, což může naznačovat, že probandi preferovali grafické znázornění celé trasy oproti interaktivnímu postupnému zobrazování.

## 6 Závěr

Tato kvalifikační práce se věnuje využití rozšířené reality pro navigaci ve vnitřních a venkovních prostorech. Pro praktickou část bylo vybráno srovnávací a rozšiřující měření pro aplikaci ve vnitřních prostorech.

V rámci praktické části této kvalifikační práce byla provedena analýza a testování aplikace pro navigaci ve vnitřních prostorech s využitím rozšířené reality. Aplikace podrobně představena včetně úprav provedených v prostředí Unity a implementace funkcí navigace. Dále byly uvedeny teoretické základy měření a použité metody, včetně dotazníku NASA TLX a stupnice použitelnosti systému (SUS). Následně bylo popsáno i samotné měření. Práce se zaměřila na měření funkčnosti, spolehlivosti a uživatelské přívětivosti této aplikace. Tyto aspekty byly hodnoceny prostřednictvím metodiky příslušné k použité metodě získávání dat.

Výsledky měření ukázaly, že aplikace dosáhla nejlepších výsledků ve spolehlivosti a rychlosti plnění úkolů při použití kombinace textových instrukcí a 2D mapy. Naopak nejpřekvapivějším zjištěním bylo nižší hodnocení aplikace pomocí stupnice použitelnosti systému SUS, což může být způsobeno rozdílnými očekáváními uživatelů a skutečnou zkušeností s aplikací.

Probandi pocítovali potřebu přítomnosti technické podpory a také soudili, že množství nově přijímaných informací bylo větší, než by si přáli u varianty ARNAV. Tato zjištění naznačují, že integrace vnější a vnitřní navigace je klíčová pro efektivní řešení výzev navigace v komplexních prostředích a identifikují potřebu dalšího výzkumu zaměřeného na využití AR v těchto podmínkách.

Závěrem lze konstatovat, že v kvalifikační práci byla úspěšně provedena analýza a testování aplikace pro navigaci pomocí AR. Získané výsledky poskytly důležité poznatky pro další vývoj a optimalizaci aplikace a také naznačily oblasti, které vyžadují další zkoumání a vylepšení.

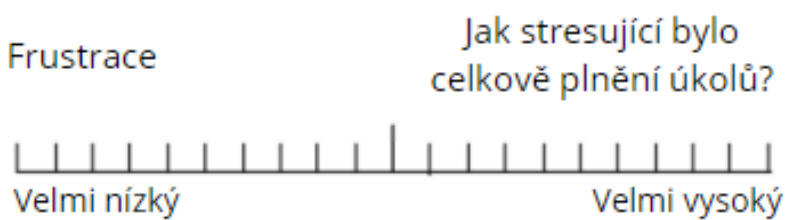
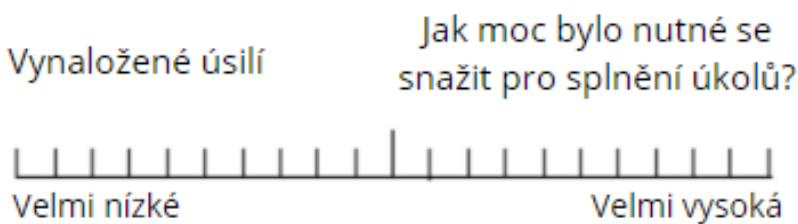
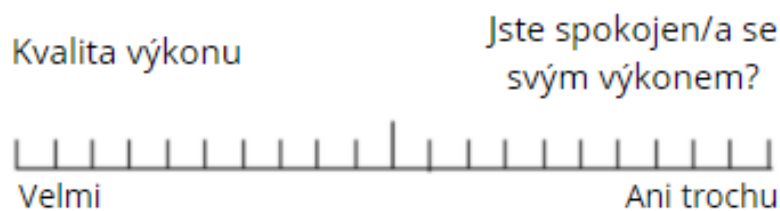
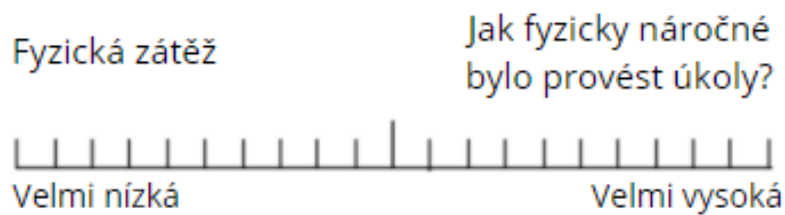
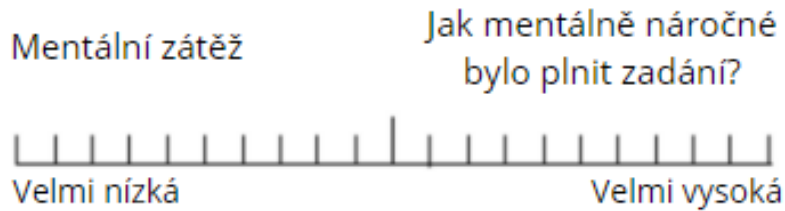
## Seznam použitých zdrojů

1. ANDREWS, Evan. *8 Remarkable Early Maps*. Online. History. 2016. Dostupné z: <https://www.history.com/news/8-remarkable-early-maps>. [cit. 2024-05-24].
2. ODOHUE, Daniel. *Augmented reality will change the way you think about geospatial*. Online. Mapscaping. 2019. Dostupné z: <https://mapscaping.com/podcast/augmented-reality-will-change-the-way-you-think-about-geospatial/>. [cit. 2024-05-24].
3. *GPS s přesností na centimetry není už pouhým snem, ale hudbou budoucnosti*. Online. Kesky. Dostupné z: <https://mapscaping.com/podcast/augmented-reality-will-change-the-way-you-think-about-geospatial/https://kesky.cz/gps-s-presnosti-na-centimetry-neni-jiz-pouhym-snem/>. [cit. 2024-05-24].
4. Cheliotis, K., Liarokapis, F., Kokla, M., Tomai, E., Pastra, K., Anastopoulou, N., ... Kavouras, M. (2023). A systematic review of application development in augmented reality navigation research. *Cartography and Geographic Information Science*, 50(3), 249–271. <https://doi.org/10.1080/15230406.2023.2194032>
5. R. J. Seidel and P. R. Chatelier, *Virtual Reality, Training's Future?: Perspectives on Virtual Reality and Related Emerging Technologies*, Berlin: Springer Science & Business Media, 1997. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0038-8>
6. *Beyond AR vs. VR: What is the Difference between AR vs. MR vs. VR vs. XR?* Online. Interaction-design. 2024. Dostupné z: <https://www.interaction-design.org/literature/article/beyond-ar-vs-vr-what-is-the-difference-between-ar-vs-mr-vs-vr-vs-xr>. [cit. 2024-05-24].
7. BENNETT, Dave. *Unlocking Construction's Digital Future - CIF Annual Conference*. Online. LinkedIn. 2021. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/unlocking-constructions-digital-future-dave-bennett/>. [cit. 2024-05-24].
8. Martin McDonnell Springer International Publishing AG 2018 T. Jung and M.C. tom Dieck (eds.), *Augmented Reality and Virtual Reality*, Progress in IS, DOI 10.1007/978-3-319-64027-3\_26
9. Martin McDonnell (371-378) Springer International Publishing AG 2018 T. Jung and M.C. tom Dieck (eds.), *Augmented Reality and Virtual Reality*, Progress in IS, DOI 10.1007/978-3-319-64027-3\_26
10. Joshi, R., Hiwale, A., Birajdar, S., Gound, R. (2020). Indoor Navigation with Augmented Reality. In: Kumar, A., Mozar, S. (eds) ICCCE 2019. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 570. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-8715-9\\_20](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8715-9_20)
11. *AR Head-up displej: navigace do budoucnosti*. Online. Volkswagen. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/ev/vse-o-elektromobilite/id-augmented-reality-navigace>. [cit. 2024-05-24].
12. *A Guide to Developing Augmented Reality Indoor Navigation Applications*. Online. Mobidev. 2024. Dostupné z: <https://mobidev.biz/blog/augmented-reality-indoor-navigation-app-development>. [cit. 2024-05-24].
13. *The Physical Web is Dead. The Beacon Legacy Lives On*. Online. Ar.mouser. 2018. Dostupné z: <https://ar.mouser.com/blog/the-physical-web-is-dead-the-beacon-legacy-lives-on>. [cit. 2024-05-24].

14. *What are Beacons?* Online. Beaconzone. Dostupné z: [https://www.beaconzone.co.uk/what\\_are\\_beacons](https://www.beaconzone.co.uk/what_are_beacons). [cit. 2024-05-24].
15. L. C. de Oliveira, A. O. Andrade, E. C. de Oliveira, A. Soares, A. Cardoso and E. Lamounier, "Indoor navigation with mobile augmented reality and beacon technology for wheelchair users," 2017 IEEE EMBS International Conference on Biomedical & Health Informatics (BHI), Orlando, FL, USA, 2017, pp. 37-40, doi: 10.1109/BHI.2017.7897199. keywords: {Wheelchairs;Indoor navigation;Augmented reality;Buildings;Indoor environments;Visualization},
16. Park, H., & Park, J. I. (2010). Invisible Marker-Based Augmented Reality. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 26(9), 829-848. <https://doi.org/10.1080/10447318.2010.496335>
17. Ginters, E., Martin-Gutierrez, J., & Blümel, E. (2013, December 23). *Low cost augmented reality and RFID application for Logistics Items Visualization*. Procedia Computer Science.
18. *What Is SLAM?* Online. Uk.mathworks. Dostupné z: <https://uk.mathworks.com/discovery/slam.html>. [cit. 2024-05-24].
19. Cai, Yiyi & Qin, Tuanfa & Ou, Yang & Wei, Rui. (2023). Intelligent Systems in Motion: A Comprehensive Review on Multi-Sensor Fusion and Information Processing From Sensing to Navigation in Path Planning. *International Journal on Semantic Web and Information Systems*. 19. 1-35. 10.4018/IJSWIS.333056.
20. *What is augmented reality?* Online. Ibm. 2024. Dostupné z: <https://www.ibm.com/topics/augmented-reality>. [cit. 2024-05-24].
21. *Mixed Reality: Unveiling the Future of Immersive Technology*. Online. Onirix. 2023. Dostupné z: <https://www.onirix.com/mixed-reality/>. [cit. 2024-05-24].
22. *SERVICE AR*. Online. Viewar. 2024. Dostupné z: <https://www.viewar.com/products/service-ar/>. [cit. 2024-05-24].
23. Macháč, T., Hořejší, P., Šimon, M., & Šimerová, A. (2024). A Comparative Evaluation of Augmented Reality Indoor Navigation versus Conventional Approaches. *Technički Glasnik - Technical Journal*, 11(2).
24. *NASA TLX: Task load index*. Online. Humansystems. Dostupné z: <https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/>. [cit. 2024-04-10]
25. *The System Usability Scale (SUS)*. Online. Youtube. 2023. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=UMv\\_OW9\\_\\_qY](https://www.youtube.com/watch?v=UMv_OW9__qY). [cit. 2024-04-10].
26. *How to Use the System Usability Scale (SUS) to Measure User Experience*. Online. Skeepers. 2021. Dostupné z: <https://skeepers.io/en/blog/system-usability-scale-sus-user-experience/>. [cit. 2024-05-24].
27. One screen to replace them all. Online. Xreal. Dostupné z: <https://www.xreal.com/air2/>. [cit. 2024-05-24].
28. Welcome to the era of spatial computing. Online. Apple. Dostupné z: <https://www.apple.com/apple-vision-pro/>. [cit. 2024-05-24].

## Přílohy

### Příloha č.1: Dotazník NASA TLX



## Příloha č.2: Stupnice použitelnosti systému (SUS)

	Naprostο nesouhlasím						Naprostο souhlasím
1. Myslím si, že bych tento systém rád(a) používal(a) často.	1	2	3	4	5		
2. Systém mi připadal zbytečně složitý.	1	2	3	4	5		
3. Myslím si, že systém je snadno použitelný.	1	2	3	4	5		
4. Myslím, že bych potřeboval(a) podporu technické osoby, abych mohl(a) tento systém používat.	1	2	3	4	5		
5. Zjistil(a) jsem, že různé funkce tohoto systému jsou dobře integrovány.	1	2	3	4	5		
6. Zdálo se mi, že je v tomto systému příliš mnoho nesrovnalostí.	1	2	3	4	5		
7. Dovedu si představit, že většina lidí by se tento systém naučila používat velmi rychle.	1	2	3	4	5		
8. Zjistil(a) jsem, že používání systému je velmi obtížné.	1	2	3	4	5		
9. Při používání systému jsem se cítil(a) velmi jistě.	1	2	3	4	5		
10. Musel(a) jsem se naučit spoustu věcí, než jsem mohl začít pracovat s tímto systémem.	1	2	3	4	5		



### **Příloha č.3: Task List – seznam prováděných úkolů – krátká varianta**

#### **TASK LIST**

**1. PICK UP AT PLACE UK 309**

3x PINK STRIP,  
2x GREEN STRIP,  
1x YELLOW STRIP AND  
1x BLUE STRIP

**2. TAKE TO PLACE UK 312**

1x BLUE STRIP

**3. TAKE TO PLACE UK 308**

1x GREEN STRIP

**4. TAKE TO PLACE UK 307**

1x YELLOW STRIP

**5. TAKE TO PLACE UK 314**

1x PINK STRIP

**6. STAY AT PLACE UK 314**

PICK UP 1x BLUE STRIP AND  
1x YELLOW STRIP

**7. TAKE TO PLACE UK 311**

1x GREEN STRIP

**8. TAKE TO PLACE UK 315**

1x BLUE STRIP AND  
1x YELLOW STRIP

**9. TAKE TO PLACE UK 318**

1x PINK STRIP

**10. STAY AT PLACE UK 318**

PICK UP 1x BLUE STRIP,  
1x GREEN STRIP AND  
1x YELLOW STRIP

**11. TAKE TO PLACE UK 313**

1x YELLOW STRIP

**12. TAKE TO PLACE UK 310**

1x BLUE STRIP AND  
1x GREEN STRIP

**13. RETURN TO DEFAULT**

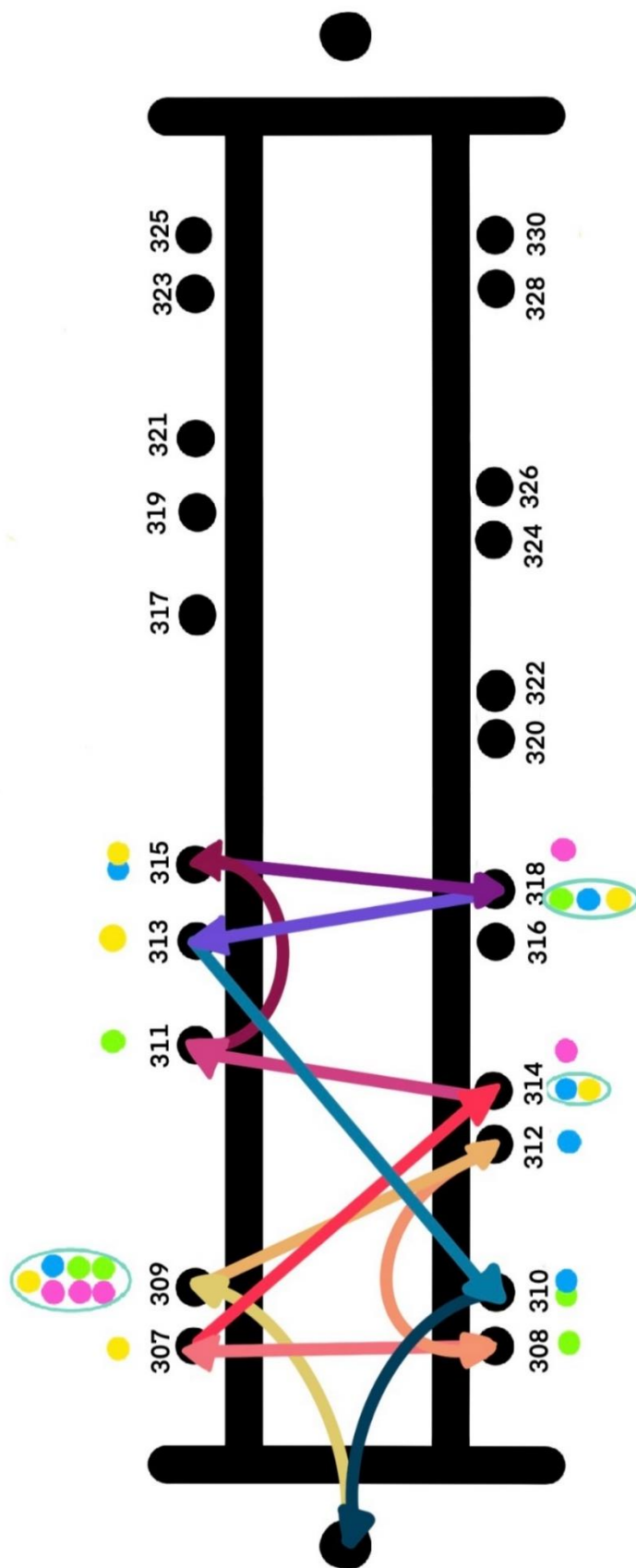
**14. QUIT TEST**

## Příloha č.4: Task List – seznam prováděných úkolů – dlouhá varianta

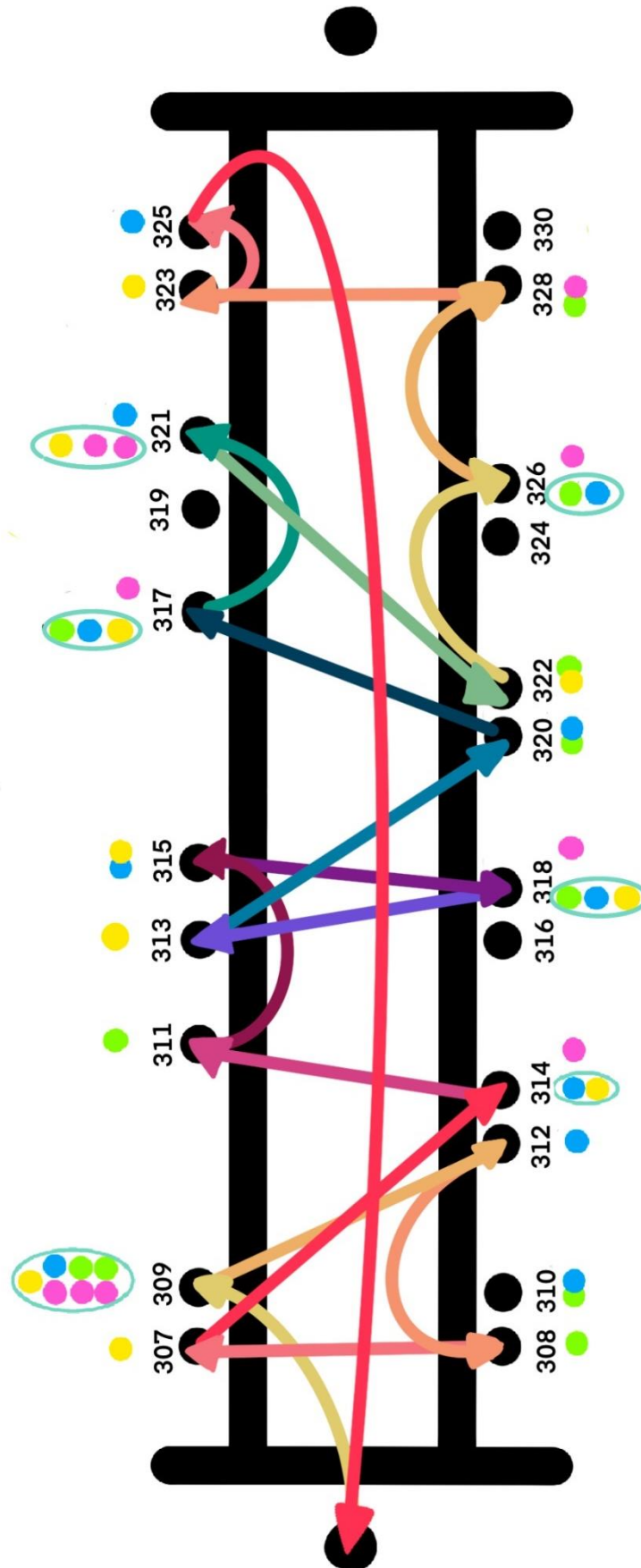
### TASK LIST

- |  |  |  |
|--|--|--|
| <b>1. PICK UP AT PLACE UK 309</b><br>3x PINK STRIP,<br>2x GREEN STRIP,<br>1x YELLOW STRIP AND<br>1x BLUE STRIP | <b>9. TAKE TO PLACE UK 318</b><br>1x PINK STRIP  | <b>17. TAKE TO PLACE UK 322</b><br>1x GREEN STRIP AND<br>1x YELLOW STRIP           |
| <b>2. TAKE TO PLACE UK 312</b><br>1x BLUE STRIP  | <b>10. STAY AT PLACE UK 318</b><br>PICK UP 1x BLUE STRIP,<br>1x GREEN STRIP AND<br>1x YELLOW STRIP | <b>18. TAKE TO PLACE UK 326</b><br>1x PINK STRIP                                   |
| <b>3. TAKE TO PLACE UK 308</b><br>1x GREEN STRIP   | <b>11. TAKE TO PLACE UK 313</b><br>1x YELLOW STRIP   | <b>19. STAY AT PLACE UK 326</b><br>PICK UP 1x BLUE STRIP AND<br>1x GREEN STRIP AND |
| <b>4. TAKE TO PLACE UK 307</b><br>1x YELLOW STRIP  | <b>12. TAKE TO PLACE UK 320</b><br>1x BLUE STRIP AND<br>1x GREEN STRIP                             | <b>20. TAKE TO PLACE UK 328</b><br>1x PINK STRIP AND<br>1x GREEN STRIP             |
| <b>5. TAKE TO PLACE UK 314</b><br>1x PINK STRIP  | <b>13. TAKE TO PLACE UK 317</b><br>1x PINK STRIP   | <b>21. TAKE TO PLACE UK 323</b><br>1x YELLOW STRIP                                 |
| <b>6. STAY AT PLACE UK 314</b><br>PICK UP 1x BLUE STRIP AND<br>1x YELLOW STRIP                                 | <b>14. STAY AT PLACE UK 317</b><br>PICK UP 1x BLUE STRIP,<br>1x GREEN STRIP AND<br>1x YELLOW STRIP | <b>22. TAKE TO PLACE UK 325</b><br>1x BLUE STRIP                                   |
| <b>7. TAKE TO PLACE UK 311</b><br>1x GREEN STRIP   | <b>15. TAKE TO PLACE UK 321</b><br>1x BLUE STRIP   | <b>23. RETURN TO DEFAULT</b>   |
| <b>8. TAKE TO PLACE UK 315</b><br>1x BLUE STRIP AND<br>1x YELLOW STRIP   | <b>16. STAY AT PLACE UK 321</b><br>PICK UP 2x PINK STRIP AND<br>1x YELLOW STRIP                    | <b>24. QUIT TEST</b>   |

### Příloha č.5: Vizuální pomůcka k měření – mapa krátká



### Příloha č.6: Vizuální pomůcka – mapa dlouhá



### Příloha č.7: Vizuální pomůcka – bez návratu (nepoužita při měření)

